

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Bernard Martinović

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Aleksandar Sušić

Student:

Bernard Martinović

Zagreb, 2012.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Aleksandru Sušiću na savjetima, i kritikama koje su pomogle u oblikovanju ovog rada.

Posebnu zahvalu dugujem svojim roditeljima i obitelji na potpori koju su mi pružili tokom studija.

Bernard Martinović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Bernard Martinović**

Mat. br.: 0035157258

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Konstrukcija inačice priteznika za pouzdanu osteosintezu pločicama**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of reliable tension device for plates osteosynthesis**

Opis zadatka:

Priteznici se koriste u tehnologiji pločicama potpomognutog cijeljenja koštanih ulomaka, iako je njihova primjena reducirana zbog brojnih razloga, uključujući i subjektivnost ostvarenih fizioloških učinaka na mjestu prijeloma. Ovaj problem prisutan je i kod drugih tehnologija osteosinteze pločicama. Na temelju ovih nedostataka može se utvrditi potreba za kvalitetnim i prihvatljivim tehničkim rješenjem odnosno konstrukcijom priteznika, koji u paru s odgovarajućom konstrukcijom pločice može osigurati željene pouzdane i kontrolirane učinke potpomognutog cijeljenja koštanih struktura.

U okviru rada potrebno je konstruirati priteznik za pouzdanu osteosintezu pločicama prema načelima razvoja i konstruiranja proizvoda, a vodeći računa o udovoljavanju uvjetima i zahtjevima primjene, kako slijedi:

- Konstrukcija priteznika treba omogućiti jednostavno, lako i brzo postavljanje i uklanjanje
- Konstrukcija priteznika treba omogućiti pouzdano i optimalno djelovanje na pločicu zbog osiguravanja ispravnog tlaka među koštanim ulomcima
- Postavljanje priteznika ne smije uzrokovati povećano oštećivanje tkiva na mjestu zahvata
- Konstrukcija priteznika treba biti prikladna za sterilizaciju te dugotrajna
- Priteznik treba udovoljiti zahtjevima čestog i mnogobrojnog korištenja bez narušavanja integriteta konstrukcije i funkcije dijelova
- Konstrukcija i njeni dijelovi trebaju udovoljavati i ergonomskim, pored navedenih tehničkih osobina.

U okviru rada je također potrebno:

- dati kratki pregled postojećih rješenja odnosno tehnologija te istaknuti uočene probleme i nedostatke
- istaknuti prednosti, nedostatke, te najznačajnija poboljšanja ostvarena predloženom konstrukcijom.

Za rad je potrebno koristiti dostupnu računalnu programsku podršku za izradu konstrukcijske dokumentacije, a njen opseg dogovoriti u tijeku izrade rada. Također, potrebno je navesti korištenu literaturu kao i eventualnu pomoć pri izradi rada.

Zadatak zadan:
4. listopada 2012.

Rok predaje rada:
6. prosinca 2012.

Predviđeni datumi obrane:
12. – 14. prosinca 2012.

Zadatak zadao:

Doc.dr.sc Aleksandar Sušić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Mladen Andrassy

SADRŽAJ

SADRŽAJ	1
POPIS SLIKA	3
POPIS TABLICA.....	5
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	6
POPIS OZNAKA	7
SAŽETAK.....	8
1. UVOD.....	9
2. BIOMEHANIKA KOŠTANOG LOMA.....	10
3. CIJELJENJE KOSTI	11
3.1. Primarno cijeljenje kosti	14
3.2. Sekundarno cijeljenje kosti	15
4. OSTEOSINTEZA (AO metoda)	16
4.1. Temeljni princip procesa osteosinteze	16
4.1.1. Interfragmentarna kompresija	17
4.1.2. Princip navođenja.....	18
5. IMPLANTATI I INSTRUMENTI OSTEOSINTEZE	19
5.1. Vijci i njihova primjena	19
5.2. Pločice za osteosintezu.....	21
5.2.1. Ravne pločice.....	23
5.2.2. Žljebaste pločice	25
5.2.3. Specijalne pločice	25
5.2.4. Kutne pločice	26
5.2.5. Pločice smanjenog dodirnog kontakta	27
5.2.6. Savijači pločica	28
5.2.7. Priteznici	29
6. PROBLEMATIKA PRIMJENE I VARIJANTE PRITEZNIKA.....	31
6.1. Primjena priteznika	31
6.2. Varijante priteznika.....	33
6.2.1. Prva varijanta priteznika	33
6.2.2. Druga varijanta priteznika.....	34
6.2.3. Treća varijanta priteznika.....	37
6.2.4. Četvrta varijanta priteznika.....	39
6.2.5. Peta varijanta priteznika.....	41
6.3. Definicija problema.....	42
7. SMJERNICE RAZVOJA	43
8. FUNKCIJSKO MODELIRAJNE PRITEZNIKA	44
9. MORFOLOŠKA MATRICA	45
10. KONCEPTI	49

10.1. Prvi koncept	49
10.2. Drugi koncept.....	51
10.3. Treći koncept.....	53
10.4. Odabir koncepta	55
11. OPIS I ANALIZA ODABRANOG KONCEPTA.....	56
11.1. Pritezni sklop.....	57
11.2. Kliješta	58
11.3. Mjerni sklop	59
11.4. Sklop za zadržavanje kompresije	62
11.5. Bužir i uže	64
12. KONTROLNI PRORAČUN	66
12.1. Proračun užeta.....	66
12.2. Proračun vodilica	67
12.3. Proračun zubi	70
13. POSTUPAK PRITEZANJA.....	72
14. ZAKLJUČAK.....	74
PRILOZI.....	75
LITERATURA.....	76

POPIS SLIKA

Slika 1.	Dislokacija ulomaka [1]	10
Slika 2.	Sanacija koštanog prijeloma periostalnim i endostalnim stvaranjem kalusa [3]...	12
Slika 3.	Prikaz Haversove pregradnje [4]	14
Slika 4.	Primarno cijeljenje kosti kao posljedica krute osteosinteze [5]	17
Slika 5.	Sekundarno cijeljenje kosti zbog slabe krutosti osteosinteze [6]	18
Slika 6.	Interfragmentarna kompresija pomoću spongioznog vijka i podložne pločice [7]	19
Slika 7.	Interfragmentarna kompresija pomoću kortikalnog vijka [7]	20
Slika 8.	Primjena pločica za osteosintezu [7]	22
Slika 9.	Pločice sa okruglim rupama [7]	23
Slika 10.	a - Različite izvedbe DCP pločice, b - presjek vijka, c - presjek otvora za vijak, d - kompresija ulomaka pomoću vijka [7]	24
Slika 11.	Varijante i primjena žljebaste pločice [7]	25
Slika 12.	Oblici specijalnih pločica: a) žličasti, b) T-pločica, c) L-pločica, d) trolisna pločica [7]	25
Slika 13.	a) Standardna kutna pločica od 130° sa 4 otvora, b) U-profil sječiva, c) varijante sa različitim brojem otvora, d) optimalni položaj pločice [7]	26
Slika 14.	a) LCP i obični sferični vijak, b) zračnost između LCP i kosti pomoću sigurnosnog vijka, c) LCP i sferični vijak pod kutom privlači ulomak, d) otvor za vijke kod LCP, e) zračnost između PC-FIX i kosti pomoću sigurnosnog vijka [8]	27
Slika 15.	a) Aluminijski model za savijanje prstima, b) prema aluminijskom modelu se savija pločica, c) kliješta za savijanje, d) preša za savijanje i savijač [7]	28
Slika 16.	Stanje naprezanja nakon implantacije pločice	29
Slika 17.	a) Priteznik hoda 8mm, b) Priteznik sa dinamometrom [7]	30
Slika 18.	Postupak pritezanja pomoću priteznika [7]	32
Slika 19.	Prva varijanta priteznika [9]	33
Slika 20.	Presjek prve varijante priteznika [9]	34
Slika 21.	Druga varijanta priteznika [9]	35
Slika 22.	Presjek druge varijante priteznika [9]	35
Slika 23.	Princip rada i krajnji položaji priteznika [9]	36
Slika 24.	Treća varijanta priteznika [9]	37
Slika 25.	Kataloški primjer priteznika [9]	38
Slika 26.	Četvrta varijanta priteznika [9]	39
Slika 27.	Kataloški primjer priteznika [10]	40
Slika 28.	Peta varijanta priteznika [9]	41
Slika 29.	Funkcijska struktura uređaja	44
Slika 30.	Prvi koncept	50
Slika 31.	Drugi koncept	52
Slika 32.	Treći koncept	54
Slika 33.	Odabrani koncept priteznika	56
Slika 34.	Presjek priteznog sklopa	57
Slika 35.	Presjek kliješta	58
Slika 36.	Presjek mjernog sklopa	59
Slika 37.	Cilindrični klizač pokazuje iznos sile u užetu	60
Slika 38.	Deformacija opruge - plavo i deformacija užeta -crveno	61

Slika 39.	Presjek mehanizma za zadržavanje kompresije	62
Slika 40.	Vanjski pogled na mehanizam za zadržavanje kompresije	63
Slika 41.	Proširenje na jednom kraju užeta	64
Slika 42.	Drugi kraj užeta se pričvrsti na donjoj ručki	64
Slika 43.	Primjer spiralnog bužira	65
Slika 44.	Model za proračun vodilica	67
Slika 45.	Model za proračun donje vodilice	68
Slika 46.	Model za proračun gornje vodilice.....	69
Slika 47.	Omjer krakova	70
Slika 48.	Sile koje djeluju na zub	71
Slika 49.	Postupak pritezanja.....	72

POPIS TABLICA

Tablica 1. Priteznikom pločicu zahvatiti	45
Tablica 2. Silu unositi.....	45
Tablica 3. Kompresiju ostvariti	46
Tablica 4. Silu mjeriti.....	47
Tablica 5. Silu signalizirati.....	47
Tablica 6. Zadržavanje kompresije omogućiti	48

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

2012/13-000	PRITEZNIK ZA STVARANJE INTERFRAGMENTARNE KOMPRESIJE
2012/13-001	KLIZNI CILINDAR
2012/13-002	ZAKRETNA RUČICA
2012/13-003	KUĆIŠTE OPRUGE
2012/13-004	GORNJA RUČKA
2012/13-005	OSOVINA KLIJEŠTA
2012/13-006	STEZNIK UŽETA
2012/13-007	DONJA RUČKA
2012/13-008	SVORNJAK ZUBNE LETVE
2012/13-009	ZUBNA LETVA
2012/13-010	KUĆIŠTE KLJUNA
2012/13-011	KLIZNI KLJUN
2012/13-012	KLIZNI SVORNJAK
2012/13-013	KLIZNI SVORNJAK ZUBNE LETVE
2012/13-014	KLIZAČ
2012/13-015	VODILICA
2012/13-016	NEPOMIČNI NOSAČ

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
a	mm	širina površine korijena zuba
A_u	mm ²	površina presjeka užeta
D_u	mm	promjer užeta
D_v	mm	promjer vodilice
F_{max}	N	najveća sila u užetu
F_o	N	obodna silna na osovinu zubne letve
f_u		faktor sigurnosti užeta
f_v		faktor sigurnosti vodilice
f_z		faktor sigurnosti zuba
F_z	N	okomita sila na zub
h	mm	visina površine korijena zuba
k	mm	krak između korijena zuba i djelovanja sile na zub
M_{dv}	Nmm	moment na donju vodilicu
M_{gv}	Nmm	moment na gornju vodilicu
M_z	Nmm	moment savijanja oko korijena zuba
$\sigma_{f dv}$	N/mm ²	svojno naprezanje donje vodilice
$\sigma_{f gv}$	N/mm ²	svojno naprezanje gornje vodilice
$\sigma_{f z}$	N/mm ²	svojno naprezanje zuba
$\sigma_{u dop}$	N/mm ²	maksimalno dopušteno naprezanje užeta
$\sigma_{u vlak}$	N/mm ²	vlačno naprezanje užeta
$\sigma_{vd dop}$	N/mm ²	maksimalno dopušteno naprezanje donje vodilice
$\sigma_{vg dop}$	N/mm ²	maksimalno dopušteno naprezanje gornje vodilice
$\sigma_{z dop}$	N/mm ²	maksimalno dopušteno naprezanje zuba
W_v	mm ³	moment otpora površine presjeka vodilice
W_z	mm ³	moment otpora površine korijena zuba

SAŽETAK

U slučaju prijeloma kosti cilj je što brži oporavak sa što boljim funkcijskim rezultatom. Prijelom se može liječiti konzervativno i operativno. Za svaki lom se posebno donosi odluka o pristupu liječenja. Iako je operacijska tehnika uznapredovala, konzervativno liječenje ima i dalje niz prednosti te za određene tipove lomova predstavlja metodu izbora. Prednost ovakvog pristupa ju u tome što postoji mala opasnost od nastanka infekcije i nema prekida krvne cirkulacije u području prijeloma. No problem je što se konzervativnim putem ne može postići dobar funkcijski rezultat kao kod operacijskog pristupa. Operacijski zahvat ili osteosinteza je postupak saniranja kosti gdje se ozlijeđeni dio kosti imobilizira uz pomoć raznih osteosintetskih implantata i instrumenata. Tu spadaju razne varijante pločica i vijaka i drugi razni instrumenti i pomagala. Prednosti ovakvog internog pristupa su dobra anatomska repozicija i fiksacija fragmenata, nema dugotrajne imobilizacije te je moguće ranije početi sa fizioterapijom. Istraživanja su pokazala da se postiže bolji rezultat zaraštavanja ako se ulomci međusobno kompresiraju. Interfragmentarnom kompresijom postiže se trenje među ulomcima a time i povećanje krutosti osteosinteze. Na taj način se sva naprezanja neutraliziraju. Interfragmentarna kompresija postiže obično sa pločicama i vijcima, no u nekim slučajima je potreban i priteznik. Priteznik je dio standardnog instrumentarija za osteosintezu, koristi se za vlačno prednaprezanje pločice koja se u takvom stanju implantira. Priteznik se poslije implantacije odstranjuje i sterilizira. U praksi se pokazalo kako priteznici ipak nisu pouzdano sredstvo za ostvarivanje interfragmentalne kompresije. Do danas su se upotrebljavale razne varijante priteznika, no još uvijek se nisu uspjeli riješiti nedostacima zbog kojih se priteznici sve rjeđe koriste. Rad se bavi razradom konstrukcijskog rješenja za priteznike. Provedena je analiza postojećih varijanti priteznika i definirani su problemi koje treba riješiti. Zatim su generirani koncepti te je u konačnici odabrano najbolje i najrealnije rješenje za detaljnu razradu. Proveden je kontrolni proračun i na kraju je dan detaljan opis rada priteznika.

1. UVOD

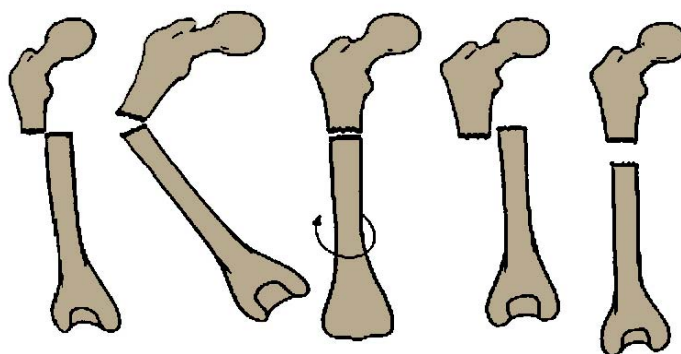
Stabilizacija prijeloma kosti jedan je od najkompleksnijih problema u suvremenoj traumatologiji. Taj se problem dugo vremena svojom složenošću nametao kroz povijest. No, do danas su se razvile brojne metode stabilizacije prijeloma. Dije se na unutarnje i vanjske.

U drugoj polovici dvadesetog stoljeća tendencija liječenja prijeloma kosti sve se više počela okretati u smjeru interne metodologije pristupa, i to zbog revolucionarnih prednosti koje su znatno unaprijedile traumatologiju, kao i cjelokupnu znanstvenu medicinu. Da bi se koštani fragmenti pravilno spojili po koštanoj osi, potrebno je na kosti i/ili unutar nje (u medularnoj šupljini), omogućiti stabiliziranje ulomaka. Njihovom krutom imobilizacijom osigurava se pravilno stvaranje kalusa i dobra prokrvljenost mekih okolnih tkiva, čime se omogućuje kvalitetan temelj za proces okoštavanja. Utvrđeno je da prijelom mnogo efikasnije zacjeljuje ako se fiksacija primjenjuje direktno na kost – unutarnjim fiksatorima. Prilikom postavljanja implantata na kost postoji mogućnost da se povrijede arterije i ostale krvne žile, uz potencijalnu prijetnju oštećivanja lokalnih mekih tkiva. Razvoj unutarnje fiksacije pratio je i rješavanje problematike oštećivanja mekih tkiva. Do danas su razvijeni brojni implantati čije postavljanje ne uzrokuje smetnje vaskularnog sustava niti lokalnih tkiva. No uz to, potrebno je da unutarnji fiksator ni na koji način ne povrijedi periost.

Kirurški zahvati prijeloma sa suvremenim internim implantatima u većini slučajeva dugo traju i zahtijevaju dodatnu obuku medicinskog osoblja. Štoviše, instrumentarij za koštanu kirurgiju ima mnogo komponenti. Da bi operacija bila što jednostavnija, potrebno je skratiti vrijeme ugradnje implantata, a time se automatski javlja potreba za što manjim brojem alata, njihovom kompaktnijom konstrukcijom te lakoćom uporabe. Jedan od takvih primjera alata su **priteznički**. To su naprave kojima se kirurzi služe za stvaranje vlačnog naprezanja u pločicama za fiksaciju kosti, čime se postiže interfragmentarni tlak, neophodan za zarastanje koštanih ulomaka. Osnovna svrha ovog rada je pronalaženje inovativnog konstrukcijskog rješenja za pritezničke kojima se, putem prednaprezanja pločice, postiže optimalna stabilizacija kosti nakon prijeloma.

2. BIOMEHANIKA KOŠTANOG LOMA

Koštani lom je djelomično ili potpuno prekidanje tijeka kosti kao posljedica djelovanja mehaničkih sila. Kod prijeloma dolazi i do oštećenja mekih tkiva različitog stupnja ovisno o situaciji loma. Mehaničke sile koje djeluju na kost uzrokuju naprezanja i deformacije koštanog tkiva, kada vanjska sila nadvlada kohezijske sile koštanog tkiva dolazi do kidanja cjelovitosti koštane građe tj. dolazi do loma. Ako vanjske sile djeluju izravno na mjestu loma radi se o direktnom lomu. Ukoliko je mjesto djelovanja sile udaljeno od mjesta loma onda je riječ o indirektnom lomu. Različiti tipovi loma posljedica su različitih tipova opterećenja. Složeni ili višeiverni lom je posljedica tangencijalnih naprezanja, kosi lom je posljedica savijanja, a torzijski lom nastaje uvijanjem. Lomovi u obliku slova T i Y i višedijelni lomovi posljedica su uzdužnog djelovanja sila na kost. Pod djelovanjem direktnih i indirektnih sila nastaju i pomaci ulomaka. Ulomci mogu biti pomaknuti u nekoliko smjerova, pa razlikujemo pomak u stranu bez promjene u duljini kosti, pomak pod određenim kutom, rotacija oko uzdužne osi i pomak po uzdužnoj osi. Pomak po uzdužnoj osi može biti sa produljenjem i nastankom zračnosti između ulomaka ili sa skraćanjem tako da se jedan ulomak u drugi utisne. Pomaci često mogu upućivati na određene vrste sila i smjerove u kojim su djelovale kada su uzrokovale lom. Nastanak i oblik loma ovisi i o dobi pacijenta, tjelesnoj masi i muskulaturi. Zbog toga ne postoje dva istovjetna loma kosti, nego se svrstavaju u određene grupe. Pristup liječenju prijeloma ovisi o nizu faktora koji se moraju uzet u obzir. U traumatologiji vrijedi pravilo da je svaki lom drugačiji, pa se za svaki lom posebno razmatra o metodi liječenja. Sve metode liječenja loma teže jednom cilju, a to je postići što bolji krajnji funkcijski rezultat. [1]

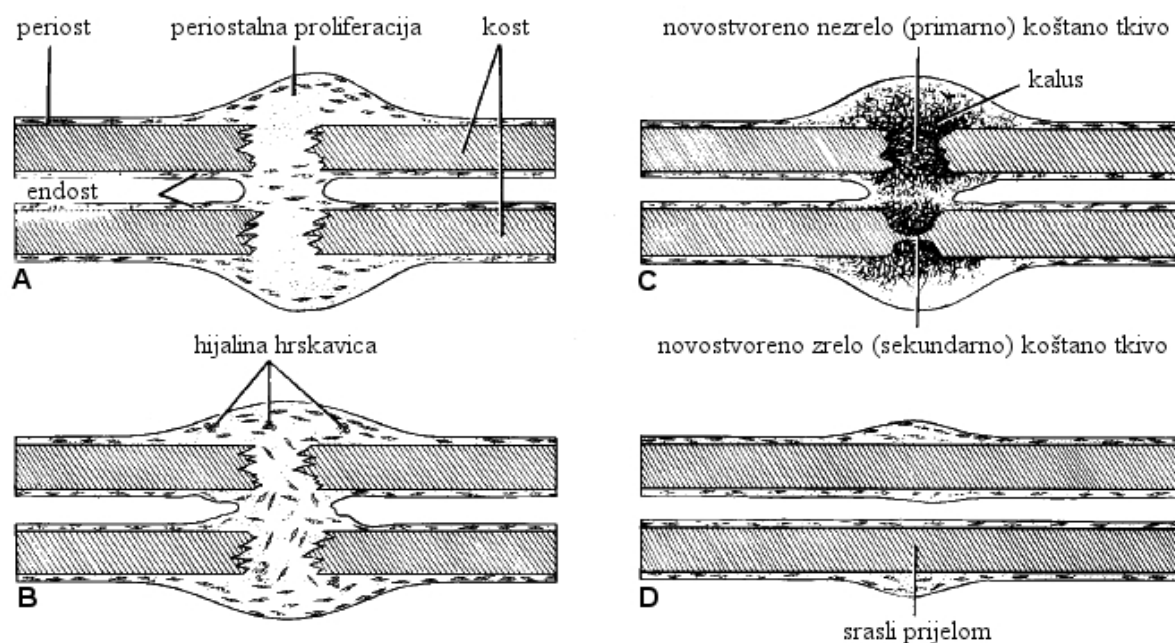


Slika 1. Dislokacija ulomaka [1]

3. CIJELJENJE KOSTI

Prekid kontinuiteta kosti pokreće histološki proces koji ima zadatak sanirati kvar. Kad dođe do prekida razdvajaju se ulomci, nastaje prekid periosta, te dolazi do krvarenja u pukotini i izvan nje. Prekinute krvne žile se začepe hemostatskim mehanizmom, dok kroz neoštećene krv dalje teče. Krv većinom teče longitudinalno kroz kost Haversovim kanalima, zbog prekida toka krvi na mjestu prijeloma i okolo, dolazi do nekroze tkiva. To uključuje periost i koštanu srž, a razmjer nekroze ovisi o tipu loma. Na mjestu prijeloma nastaje kalus, prekrivajući pukotinu i prostor oko nje. Kalus koji se razvija izvan rubova koštanih ulomaka je vanjski kalus a unutarnji kalus je unutar koštane pukotine. Poslije dva dana u dubokom sloju periosta dolazi do rapidnog širenja osteogena, koji stvaraju fibrozni sloj periosta. Osteogeni se šire i u koštanu srž, ali sporije. Već nakon nekoliko dana osteogene stanice iz dubokog periosta su se proširile i stvorile jasnu ovojniciu oko svakog ulomka, u kojoj dolazi do stvaranja kapilara. Osteogene stanice koje se nalaze duboko pokraj ovojnice su u dobro prokrvljenom području, kako je to područje dobro opskrbljeno te stanice se pretvaraju u osteoblaste tj. u koštanu matricu. One osteogene stanice ovojnice koje su udaljenije od kosti pretvaraju se u hondroblaste - preteče hondrocita tj. hrskavice, jer nisu dovoljno opskrbljene krvlju zato što se kapilari sporije šire. Na kraju pretvorbe novonastale stanice čine tri sloja: duboki, hrskavični i vanjski sloj. U dubokom sloju od koštanih trabekula nastaje kost, hrskavični sloj se neprimjetno spaja se vanjskim dijelovima dubokog sloja, a vanjski sloj se sastoji od rapidno širećih stanica dubokog sloja periosta. Ovojnice kod oba ulomka postaju deblje i šire se jedna prema drugoj dok potpuno ne srastu, paralelno se i unutarnja tri sloja međusobno spajaju čineći most. Ovim putem se odvija primarno spajanje. Također se i spajanje koštane srži odvija razvojem trabekula (Slika 2.).

Hrskavica srednjeg kalusa nije trajna i putem endohondralne osifikacije biva zamjenjena s kosti. One stanice hrskavice koje su najbliže novooblikovanoj kosti dozrijevaju kalcifikacijom matrice dok hondrociti odumiru. Tako progresivno nestaje hrskavica i nastaje kost. Novoformirane trabekule postaju čvrsta kost. Između novonastalih trabekula, osteoklasti pomalo pomiču nekrotičnu kost i stvaraju šupljine koje opet osteoblasti popune i pretvaraju u živu kost. Cijela matrica mrtve kosti se ovako zamjeni s novom živom kosti.



Slika 2. Sanacija koštanog prijeloma periostalnim i endostalnim stvaranjem kalusa [3]

Postoji još jedna tvar u procesu pregradnje. Možemo je nazvati i fazom, a to je unutarnji kalus. Unutarnji kalus nastaje paralelno sa srednjim, a odgovoran je za spajanje ulomaka u područjima rubova koštane moždine. Iz njega se generiraju osteogene stanice koje aktivno sudjeluju u procesu pregradnje fragmenata. Na kraju dio unutarnjeg kalusa, koji potječe od osteogenih stanica vanjske površine ulomka, urasta u prijelomnu pukotinu gdje se spaja sa spongioznom kosti koja ujedinjuje koštane krajeve. Nakon toga potrebno je izvjesno vrijeme da spongiozna kost na rubovima preraste u čvrstu kompaktnu kost.

S obje strane prijelomne pukotine, nalazi se mnogo kapilara i osteogenih stanica. One se nalaze unutar Haversovih kanala. Osteogene stanice diferenciraju se u osteoklaste koji proširuju te kanale, a s druge se strane diferenciraju u osteoblaste koji se polažu na zidove proširenih kanala i u serijama stvaraju koncentrične lamele. Tako nabujale stanice poput tijesta, šire se prema prijelomnoj pukotini, gdje novooblikovani osteoni prelaze preko pukotine u suprotni fragment. Proces je sličan onome koji se odvija u standardnoj pregradnji koštanih ulomaka, gdje se nastankom novih osteogena obnavlja koštano tkivo.

Temeljno tkivo koje prethodi, te ujedno stvara preduvjet prelasku osteona u prijelomnu pukotinu, je mekani unutarnji kalus od endoosta i koštane moždine. Može se reći da je ovaj spoj relativno labav, dok se ne preoblikuju novi Haversovi sustavi koji prelaze s jedne na drugu stranu, te u potpunosti ne zamijene nezrelu kost.

Iz navedenog, može se zaključiti kako osteogeneza, nije samo rezultat procesa koji se javljaju unutar lokalnih tkiva, već i različitih čimbenika proizvedenih u raznim drugim organima. Osteogeneza je prema tome rezultat lokalnih i sustavnih procesa. Stupanj cijeljenja koštanih ulomaka ovisi o njihovom stupnju mirovanja. Shodno tomu, postoje dvije vrste cijeljenja – primarno i sekundarno. [2]

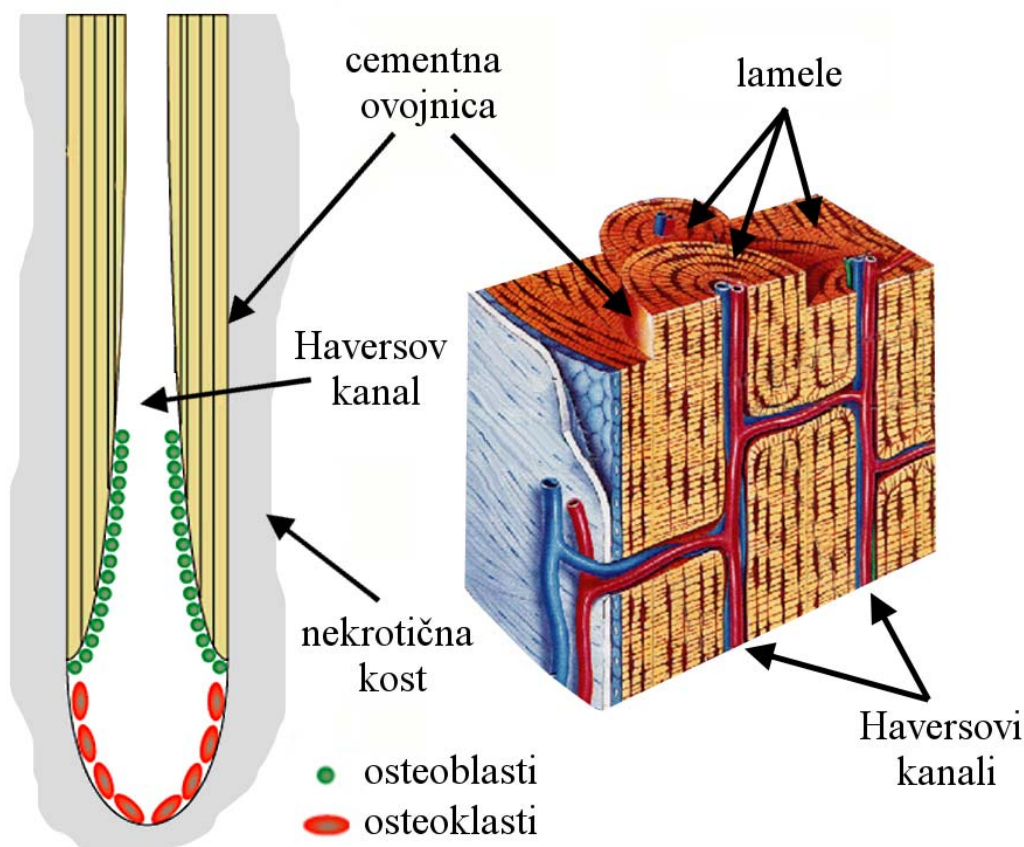
3.1. Primarno cijeljenje kosti

Primarno cijeljenje odvija se pod uvjetima apsolutnog mirovanja koštanih ulomaka. To se postiže krutom fiksacijom. Ako su ulomci međusobno u kontaktu onda je primarno cijeljenje kontaktno, a ako je između pukotina onda je pukotinasto primarno cijeljenje. Kontaktno primarno cijeljenje rezultat je izravnog urastanja osteona iz jednog koštanog ulomka u drugi.

Samo uzajamno djelovanje osteoklasta i osteoblasta omogućuje normalno koštano cijeljenje.

Osteoklasti koje se nalaze na vrhu osteona otapanjem koštanog tkiva stvaraju kanale kroz koje rastu krvni kapilari. Iz okolnog pluripotentnog vezivnog tkiva i periosta diferenciraju se osteoblasti koji stvaraju osteoid u koji se odlažu mineralne soli i tako se stvara lamelarna kost.

Ovaj oblik popravka kosti zove se Haversova pregradnja (Slika 3.).



Slika 3. Prikaz Haversove pregradnje [4]

Kod pukotinastog primarnog koštanog cijeljenja uvjet je apsolutno mirovanje koštanih ulomaka. Pukotina se ispunjava koštanim tkivom te kao kod kontaktnog primarnog cijeljenja zarasta Heaversovom pregradnjom. Zato je važno postići anatomske repozicije sa što manje pukotina a što više kontakta među ulomcima. Primarno cijeljene kosti nije bez nedostataka, vrlo je sporo, osobito kod odraslih i ne može napredovati u anaerobnim uvjetima, za razliku od cijeljenja posredovanjem kalusa.

3.2. Sekundarno cijeljenje kosti

Sekundarno cijeljenje ili cijeljenje posredovano kalusom jer prirodni načina cijeljenja kosti. Ovakav način cijeljenja nastupa u slučaju kad koštani ulomci nisu apsolutno kruto fiksirani, te se mogu međusobno pomicati. Ako je pomičnost minimalna, pojačanim stvaranjem kalusa ulomci će se dodatno stabilizirati, te će doći do koštane pregradnje kroz mjesto prijeloma i na kraju do resorpcije periostalnog kalusa. U slučaju da je pomičnost veća i traje duži period, onda je koštano sraštavanje otežano i nemoguće te dolazi do pseudoartroze. Može se reći da se sekundarno cijeljenje odvija u tri faze:

Inflamatorna faza je posljedica mehaničkog i osobito vaskularnog oštećenja tkiva, koje je praćeno nekrozom kosti u području prijeloma. Upala je najintenzivnija u prvih 24h, a gotovo potupuno nestaje nakon tjedan dana.

Reparatorna faza započinje nekoliko dana nakon prijeloma i traje nekoliko mjeseci. Tokom ove faze dolazi do stvaranja primarnog kalusa unutar i oko prijeloma, koji se postepeno pretvara u kost. Važno obilježje kod stvaranja kalusa je relativna neovisnost o mehaničkim čimbenicima, što znači da se može stvarati unatoč prisustvu stranog tijela. Također značajka kod stvaranja primarnog kalusa je da on ne traje beskonačno dugo, ako kalus nije uspio ujediniti dva ulomka unutar nekoliko tjedana može prestati rasti i povući se. Ako uspješno poveže ulomke proces cijeljenja napreduje do stadija čvrstog kalusa i njegove pregradnje.

Remodelirajuća faza rezultira potpunom modifikacijom područja zacjeljenja loma pod utjecajem mehaničkog opterećenja dok ne dosegne optimalan oblik, sličan onom prije prijeloma.

4. OSTEOSINTEZA (AO metoda)

4.1. Temeljni princip procesa osteosinteze

Koštano tkivo je vezivno tkivo koje podupire tjelesnu strukturu. Kostí zajedno s mišićima čine sustav organa za kretanje. Kod prijeloma kosti dolazi do prekida kontinuiteta kosti koji nastaje djelovanjem vanjske sile, koja mora biti dovoljno velika da nadjača fiziološku razinu elastičnosti kosti. U slučaju loma cilj je cijeljenje prijeloma uspostavljanjem normalnih anatomskih odnosa i što brže uspostavljanje funkcije ozlijeđenog ekstremiteta uz što manje negativnih posljedica. Lom se može liječiti operativno i konzervativno tj. bez operacijskog zahvata. Konzervativnom metodom liječenja prijeloma gotovo je nemoguće postići idealnu anatomsku repoziciju ulomaka, pored toga imobilizacija dugo traje i pokretanje u zglobovima je ograničeno, pa je neophodno lom liječiti kirurškim putem koji na kraju daje bolji funkcijski rezultat.

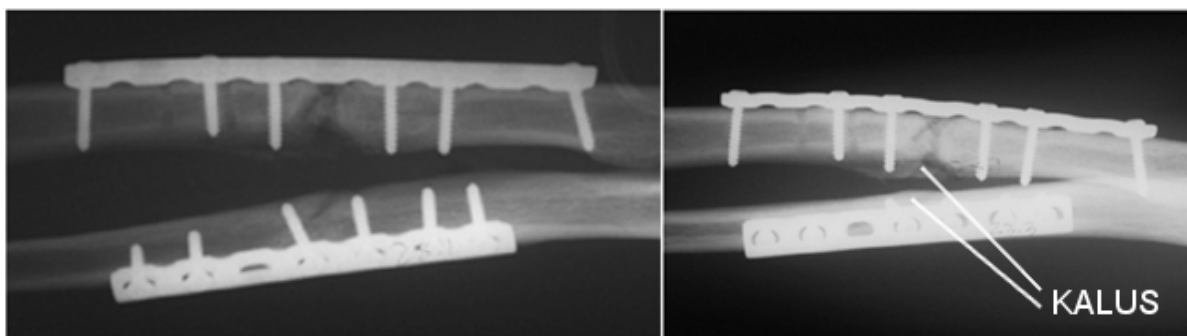
Osteosinteza je postupak saniranja prijeloma kosti, to je kirurški zahvat gdje se imobilizira ozlijeđeni dio kosti i uz pomoć raznih osteosintetskih implantata fiksiraju i stabiliziraju ulomci. Implantati se izrađuju od posebnih bioinertnih metala kako ne bi došlo do komplikacija uslijed nekompatibilnosti. Ovakav način liječenja bitno skraćuje vrijeme oporavka, jer omogućuje dobru anatomsku repoziciju, kvalitetnu i krutu imobilizaciju. Time osigurava uvjete za pravilno stvaranje mekog tkiva tzv. kalusa i dobru prokrvljenost okolnih tkiva što vodi uspješnom okoštavanju. Da bi došlo do okoštavanja i povratka funkcije kosti prilikom zahvata treba paziti da se ne oštete nutritivne krvne žile i da ne bi došlo do poremećaja cirkulacije u području koštanih ulomaka. Također postoji opasnost od nastanka lokalne infekcije i nastanka nekroze kože iznad mjesta prijeloma što predstavlja negativne strane ovakvog zahvata. Nakon uspješne osteosinteze pacijentu su omogućeni rani aktivni i bezbolni pokreti svih mišića i zglobova pa tako je moguća i rana fizioterapija, te u periodu od nekoliko mjeseci dolazi do prirodnog međusobnog sraščivanja koštanih fragmenata kroz proces unutarmembranske osifikacije. Tijekom razvoja osteosinteze korišteni su razni načini izvođenja osteosinteze, no mnogi od njih su napušteni. Ipak, vremenom i iskustvom profilirali su se bitni principi učinkovite osteosinteze. Dva temeljna principa koja se danas primjenjuju su princip interfragmentarne kompresije i princip navođenja.

4.1.1. Interfragmentarna kompresija

Interfragmentarnom kompresijom postiže se trenje među koštanim ulomcima, a time se jača i stabilnost osteosinteze. Pri tome se sva naprezanja uzrokovana smikom, torzijom ili savijanjem neutraliziraju. Ako je osteosinteza dovoljno kruta i cirkulacija krvi nesmetana dolazi do primarnog cijeljenja kosti (Slika 4.). Kako bi se ostvarila kruta osteosinteza implantat se mora vlačno opteretiti dok bi površine koštanih ulomaka morale biti što veće. U slučaju da osteosinteza nije dovoljno kruta koštani ulomci se međusobno pomiču dok implantat preuzima ciklička opterećenja. Rezultat toga je resorpcija kosti, sekundarno i produženo cijeljenje prijeloma (Slika 5.), a u najgorem slučaju dolazi do stvaranja pseudoartroze i prijeloma implantata. Interfragmentarna kompresija može biti statička i dinamička. Kod statičke interfragmentarne kompresije implantat se tijekom kirurškog zahvata vlačno prednapreže te se pričvrsti na ulomke koji su tada opterećeni tlačno. Ovakav način kompresije postižemo upotrebom priteznog vijaka, jednostruko ili dvostruko prednapregnute pločice i vanjskog fiksatora koji djeluje tlačno na ulomke. Dinamička kompresija prijeloma koristi pored sile u implantatu i sile koje nastaju na mjestu prijeloma uslijed prirodnih pokreta udova.



Slika 4. Primarno cijeljenje kosti kao posljedica krute osteosinteze [5]



Slika 5. Sekundarno cijeljenje kosti zbog slabe krutosti osteosinteze [6]

4.1.2. Princip navođenja

Za razliku od interfragmentarne kompresije navođenje prijeloma u većini slučajeva ne dovodi do apsolutne imobilizacije ulomaka. Posljedica takve nestabilnosti u području loma je sekundarno cijeljenje tj. cijeljenje posredovano stvaranjem kalusa. Koriste se dva osnovna oblika navođenja, unutarnje i vanjsko. Prilikom unutarnjeg navođenja, upotrebljava se medularni čavao kod prijeloma u području dijafize dugih kosti, pločica od 130° kod prijeloma vrata bedrene kosti te Kirschnerove žice kod nekih prijeloma spongioznih kosti u dječjoj dobi. Vanjsko navođenje postiže se pomoću vanjskih fiksatora i aparata za produživanje. Moguća je i kombinacija ovih principa. Primjer je primjena priteznih vijaka u kombinaciji sa neutralizacijskim pločicama i u kombinaciji sa potpornim pločicama, dok Kirschnerove žice osiguravaju obuhvatnu svezu i također djeluju neutralizirajuće.

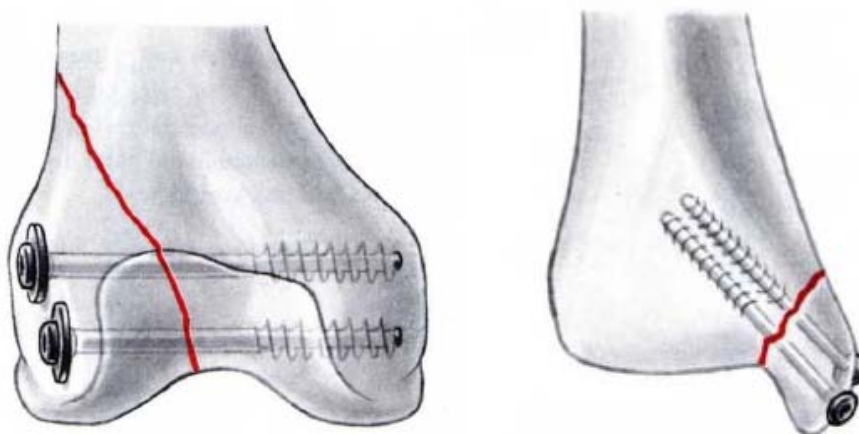
Za potrebe rada se razmatra princip statičke interfragmentarne kompresije.

5. IMPLANTATI I INSTRUMENTI OSTEOSINTEZE

Za ostvarivanje stabilne osteosinteze potrebni su razni instrumenti i pomagala. Sredstva za učvršćivanje su vijci, žice, pločice, medularni čavli, vanjski fiksatori i spojna osteosinteza, a pomagala su razna kliješta, savijači i preše za savijanje pločica. Od materijala za izradu instrumentarije se zahtjeva visoka kvaliteta, otpornost na hrđanje i bio kompatibilnost s obzirom na kost i okolno tkivo. Ovdje su iznesena neka najčešće upotrebljavana sredstva fiksacije i pomagala.

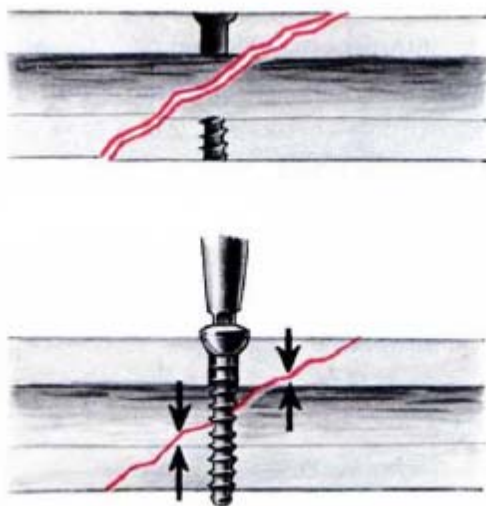
5.1. Vijci i njihova primjena

Kod vijaka razlikujemo spongiozne pritezne vijke i kortikalne pritezne vijke. Koriste se za stvaranje interfragmentarnog tlaka. Efekt kompresije postiže se ako je kod sjedišta glave vijka omogućeno klizanje a kraj vijka ima sigurno hvatište u drugom ulomku. Spongiozni vijci imaju relativno mali promjer jezgre a veliki promjer navoja. Koriste se za pritezanje u epifiznom i metafiznom području, tu je koštana masa spužvasta i niske gustoće pa je potreban navoj većeg promjera da zahvati što više mase kako bi se ostvario čvrst oslonac. Vijak nema navoj po cijeloj duljini, potreban je samo na onoj strani koja se urezuje u mekanu koštanu masu. Implantacija se izvodi tako da se izbuši rupa promjera jezgre vijka te se nareznikom nareže navoj dubine oko 1cm, nakon toga se umeće vijak koji dalje sam sebi urezuje navoj.



Slika 6. Interfragmentarna kompresija pomoću spongioznog vijka i podložne pločice [7]

Kortikalni vijci imaju po cijeloj duljini navoj, zato da bi se postigao efekt kompresije rupa kod sjedišta glave mora biti prolazna tj. promjer rupe mora biti jednak ili malo veći od promjera navoja vijka. Na drugom ulomku se urezuje navoj u kortikalni dio kosti. Vijak zahvati urezani navoj u suprotnom ulomku i kada mu glava prioni u kortikalis dolazi do interfragmentarne kompresije. U suprotnom tj. ako su u oba kortikalisa narezani navoji, nemože se ostvariti kompresija te daljnim pritezanjem dolazi do pucanja vijka ili kosti. Osim direktne interfragmentarne kompresije kortikalni vijci koriste se i za fiksiranje pločica. Izvode se tako da vijak zahvati oba kortikalisa, osim onih koji prolaze kroz prijelomnu pukotinu, takvi se izvode kao pritezni vijci. Kod implantacije kortikalnih vijaka, vijak može sam narezati navoj ako je promjer rupe u kortikalisu malo veći od promjera navoja vijka, ali puno bolji oslonac dobijemo ako se navoji naprave pomoću nareznika. Takvi navoji su dublji i širi i imaju velike kontaktne površine. Nareznik je nužan kod implantacije kortikalnih vijaka, dok je kod implantacije spongioznih vijaka bolje da vijak sam narezuje navoj.

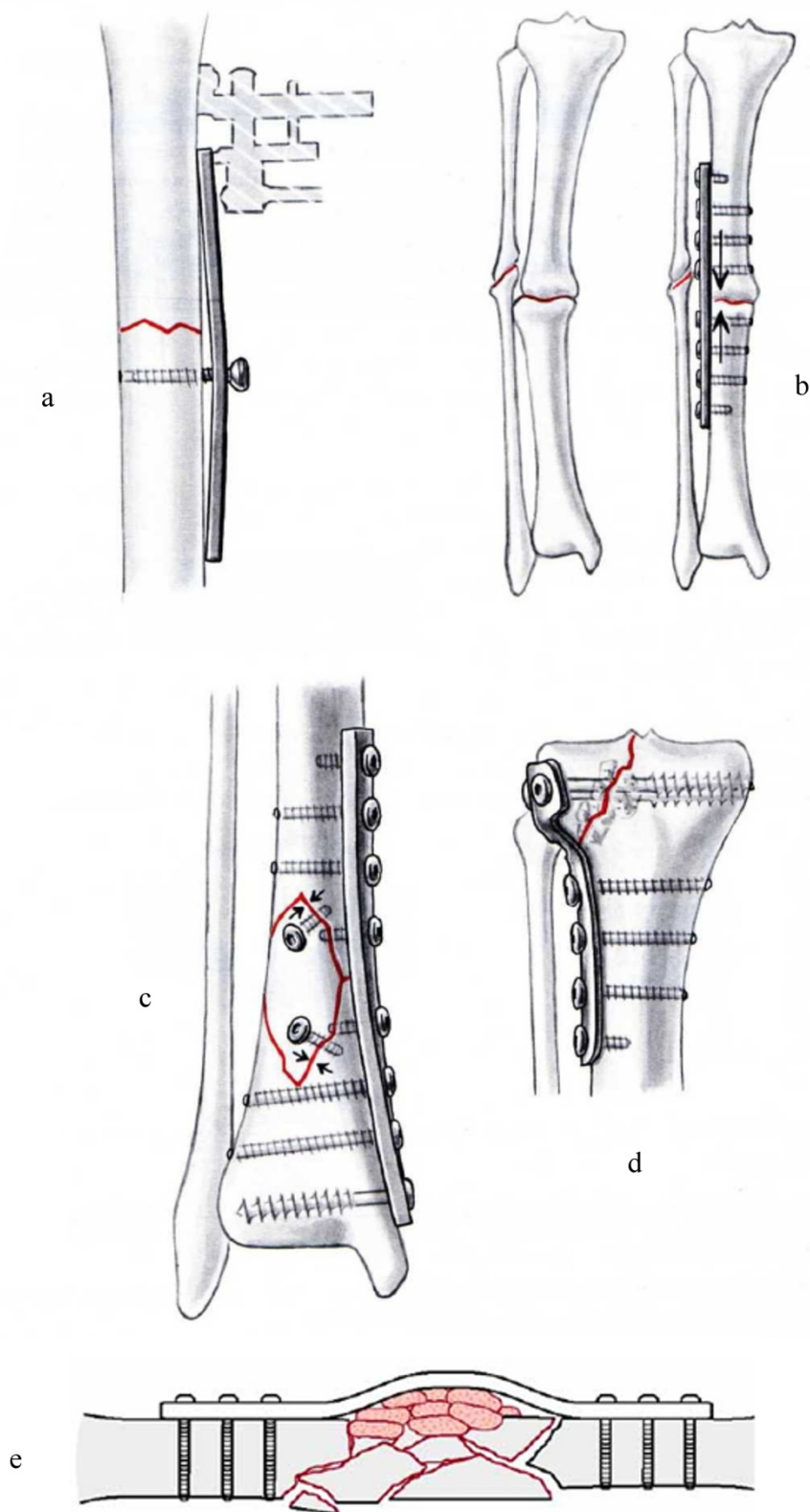


Slika 7. Interfragmentarna kompresija pomoću kortikalnog vijka [7]

5.2. Pločice za osteosintezu

Pločice za osteosintezu dijele se na ravne, specijalne, kutne i pločice smanjenog dodirnog kontakta. Ravne pločice koriste se za fiksiranje dijafiznih lomova, a specijalne pločice za fiksaciju u blizini zglobova, u području epifiza i metafiza. Kutne pločice namijenjene su za proksimalni i distantni dio femura. Pločice ovisno o vrsti osteosinteze mogu obavljati jednu ili više od ukupno četiri sljedeće funkcije (Slika 8.):

- a) **Statička kompresija** - pločica vrši kompresiju ulomaka aksijalno pomoću vlaka unesenog za vrijeme operacije
- b) **Dinamička kompresija** (obuhvatna sveza pomoću pločice) - ploča preuzima sve vlačne sile, dok kost preuzima tlačne sile
- c) **Neutralizacija** - to je najčešća funkcija pločica za osteosintezu. Statička interfragmentarna kompresija postiže se ili samostalnim vijcima, ili vijcima koji prolaze kroz ploču. Nakon toga postavlja se priređena neutralizacijska (zaštitna) pločica. Ona zaštićuje osteosintezu, te neutralizira sile torzije, savijanja i smika.
- d) **Potporna funkcija** - pločica zaštićuje tanki kortikalis ili spongiozni dio od raspada
- e) **Funkcija premoštenja** - koristi se za sanaciju kod višedijelnih prijeloma dijafize



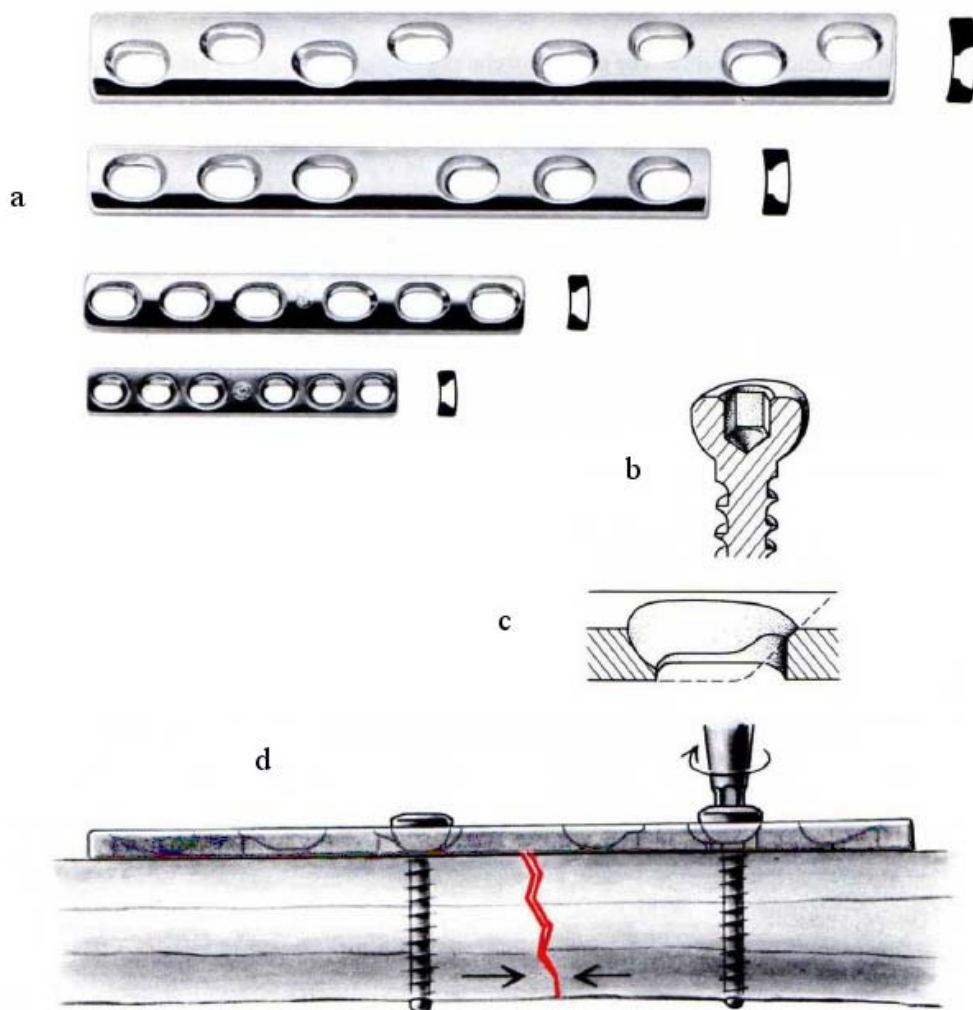
Slika 8. Primjena pločica za osteosintezu [7]

5.2.1. Ravne pločice

Ravne pločice postoje u različitim varijantama. Najosnovniji model je sa okruglim rupama (Slika 9.), koristio se u kombinaciji sa vijcima i priteznikom za postizanje interfragmentarne kompresije. Poslije je taj oblik pločice evoluirao u dinamičko-kompresivnu pločicu (DCP). Ova pločica ima specijalno dizajniran oblik otvora za vijke, koji pritezanjem vijaka primiće ulomke jedan prema drugom i tako omogućuje postizanje aksijalne kompresije bez priteznika. Sve ravne pločice imaju na svojim krajevima udubinu za priteznik i tako omogućavaju njegovu primjenu. Kod DCP pločica priteznik se primjenjuje samo ako je pritezni hod dulji od 2mm i ako je potrebna kompresija veća od . Ravne pločice s okruglim rupama dozvoljavaju implantaciju vijaka pod kutom do 20° dok DCP dozvoljavaju kut do 25° .



Slika 9. Pločice sa okruglim rupama [7]

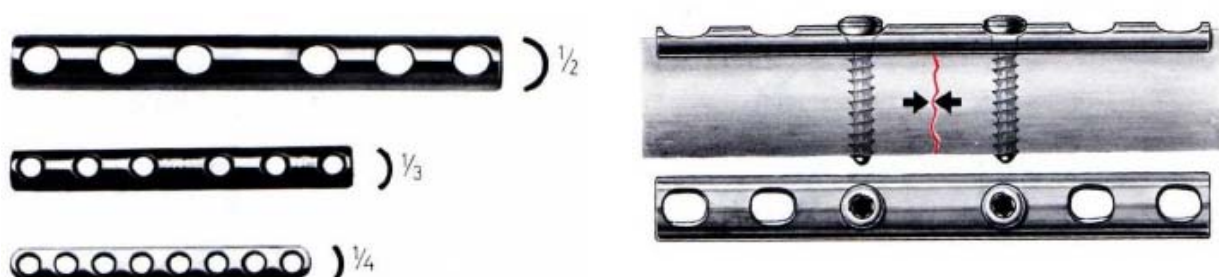


Slika 10. a - Različite izvedbe DCP pločice, b - presjek vijka, c - presjek otvora za vijak, d - kompresija ulomaka pomoću vijka [7]

Na slici gore se vidi kako pritezanjem vijka na desnom ulomku postizemo primicanje ulomka prema lijevo. To je moguće zbog posebno oblikovanog otvora za vijke i sferičnog oblika glave samog vijka. Time se izbjegava potreba za priteznikom kod malih razmaka ulomaka.

5.2.2. Žljebaste pločice

Žljebaste pločice mogu biti polovinske, trećinske i četvrtinske (Slika 11.). Oblikom omogućuju dobro prijanjanje uz kost, rubovi pločice se ukopaju u kost i tako pružaju bolju stabilnost kod rotacijskih pokreta. Pločice su samokomprimirajuće, debljine 1mm i nemaju veliku krutost. Primjenjuju se samo tamo gdje je vlačno opterećenje. Problem kod ovih pločica je u tome što zbog male debljine vijak nema sjedište te prodire u kortikalis i time može izazvati pukotine. Slično kao i sa DCP pločicama moguće je ostvariti aksijalnu kompresiju pomoću ekscentrične implantacije vijaka.



Slika 11. Varijante i primjena žljebaste pločice [7]

5.2.3. Specijalne pločice

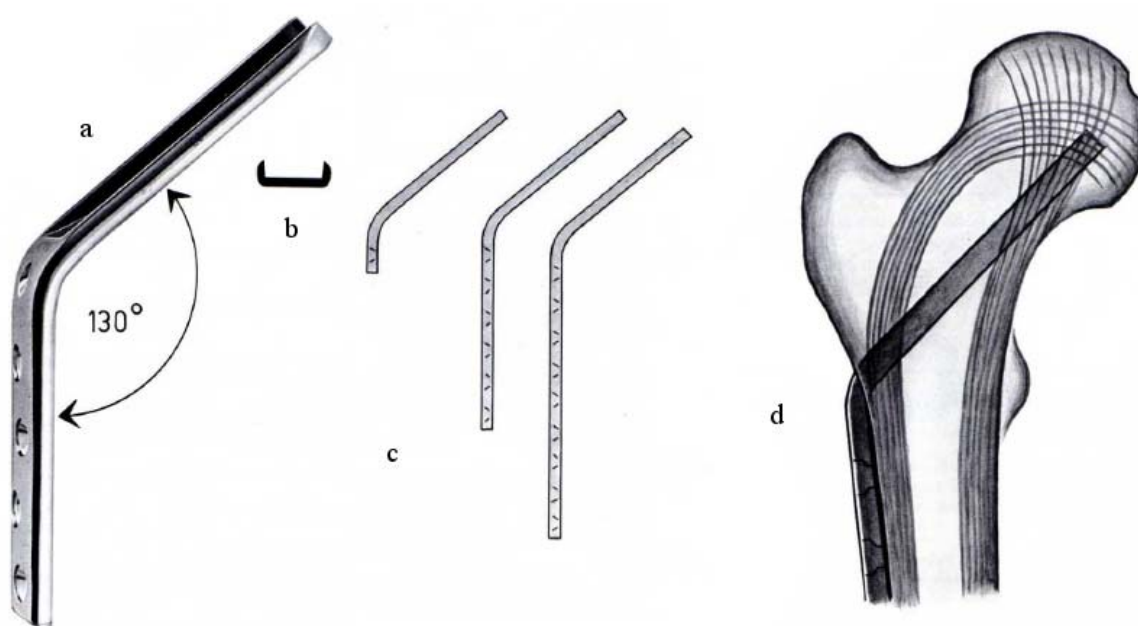
Specijalne pločice primjenjuju se u području metafiza i epifiza. Njihov oblik (Slika 12.) je prilagođen anatomske obliku prelomljenog dijela kosti. Pločice svojim oblikom podupiru kost, zaštićuju kortikalis i spreječavaju kost od urušavanja kod defekta spongioze.



Slika 12. Oblici specijalnih pločica: a) žličasti, b) T-pločica, c) L-pločica, d) trolisna pločica [7]

5.2.4. Kutne pločice

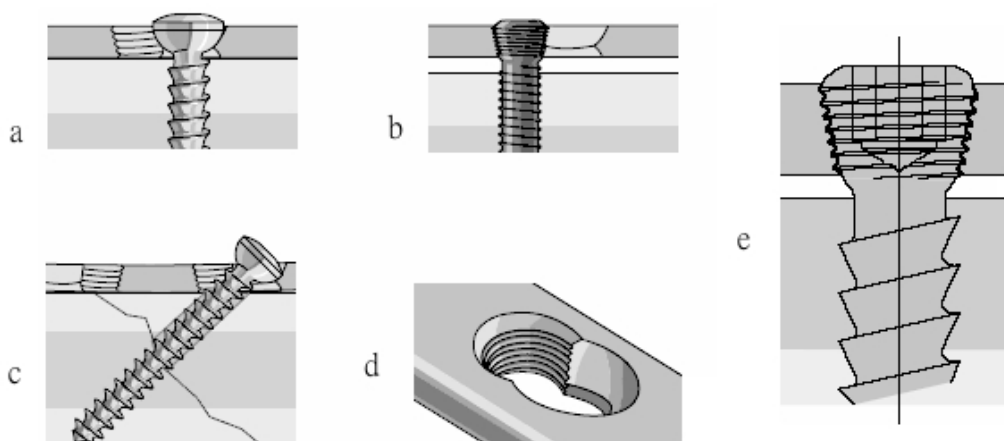
Koriste se za stabilnu fiksaciju isključivo u području proksimalnog i distalnog kraja bedrene kosti. Pločica je oblikovana tako da je sječivo U-profila i čini sa ostatkom pločice kut od 130° (Slika 13.). Takvim oblikom je povećana čvrstoća pločice, smanjena osjetljivost na koroziju i omogućen je dobar neutralizacijski oslonac za cijeljenje prijeloma u blizini zglobova. Izrađuju se sa okruglim otvorom za vijke ili sa otvorom kao kod DCP pločica.



Slika 13. a) Standardna kutna pločica od 130° sa 4 otvora, b) U-profil sječiva, c) varijante sa različitim brojem otvora, d) optimalni položaj pločice [7]

5.2.5. Pločice smanjenog dodirnog kontakta

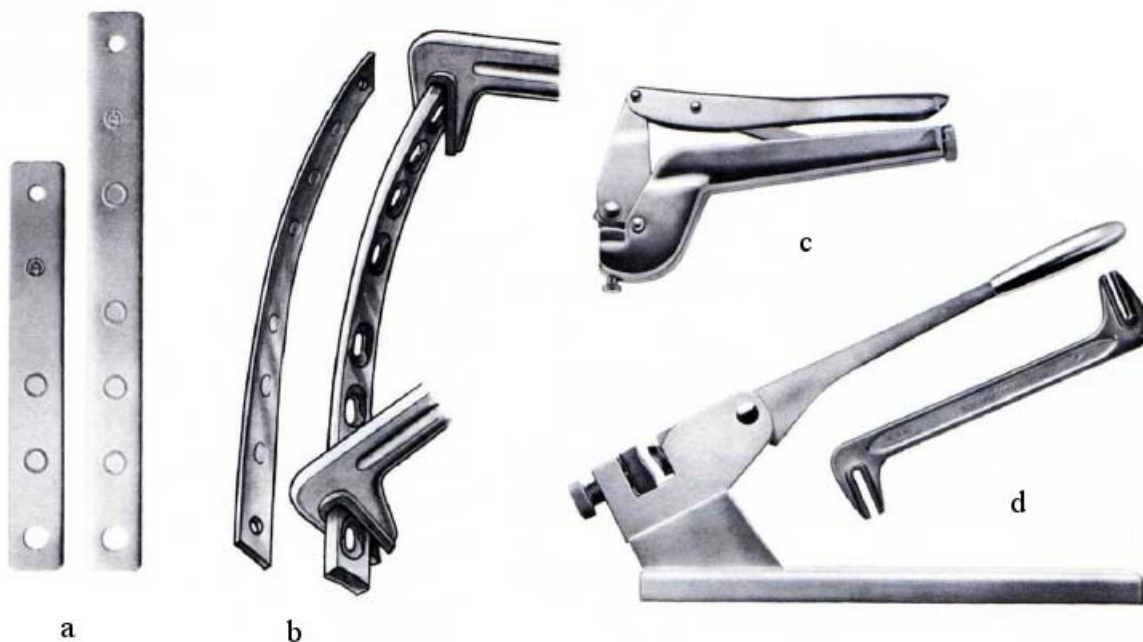
Razlikujemo LC-DCP, PC-Fix i LCP varijante ovih pločica. LCP (Locking Compression Plate) pločica ima otvore za vijke slične onima kao i kod DCP pločica ali je s jedne strane narezan navoj (Slika 14.d), dozvoljava umetanje vijaka pod kutom (Slika 14.c), omogućuje primjenu standardnih vijaka sa sferičnom glavom i primjenu novorazvijenih sigurnosnih vijaka sa glavom koja se ureže i uklješti u pločicu (Slika 14.a,b). U kombinaciji sa sigurnosnim vijcima prilikom upotrebe neće doći do razlabljivanja između vijka i pločice jer čine krutu vezu. Time što se vijci uklješte u pločicu nije potrebno više da pločica leži na kosti da bi osteosinteza bila stabilna, nego dozvoljava zračnost i tako slobodnu cirkulaciju kroz periost. U slučaju da se, pločica montira na kost bez zračnosti ipak je cirkulacija omogućena jer pločica ima blage uture s donje strane koji smanjuju kontaktnu površinu. PC-Fix (Point-Contact Fixator) pločice ugrađuju se pomoću sigurnosnih monokortikalnih vijaka koji se također uklješte u pločicu (Slika 14.e). Donja površina ovih pločica je također valovita sa blagim vrhovima, ali samo uz rub. Tako pločica u sredini nema kontakt s periostom i olakšava cirkulaciju dok se na rubovima ukopa u kost na mjestima gdje su valoviti vrhovi u kontaktu sa periostom. LC-DCP (Limited Contact Dynamic Compression Plate) iste su kao DCP pločice samo što su s donje strane oblikovane da smanjuju kontaktnu površinu te olakšavaju cirkulaciju.



Slika 14. a) LCP i obični sferični vijak, b) zračnost između LCP i kosti pomoću sigurnosnog vijka, c) LCP i sferični vijak pod kutom privlači ulomak, d) otvor za vijke kod LCP, e) zračnost između PC-FIX i kosti pomoću sigurnosnog vijka [8]

5.2.6. Savijači pločica

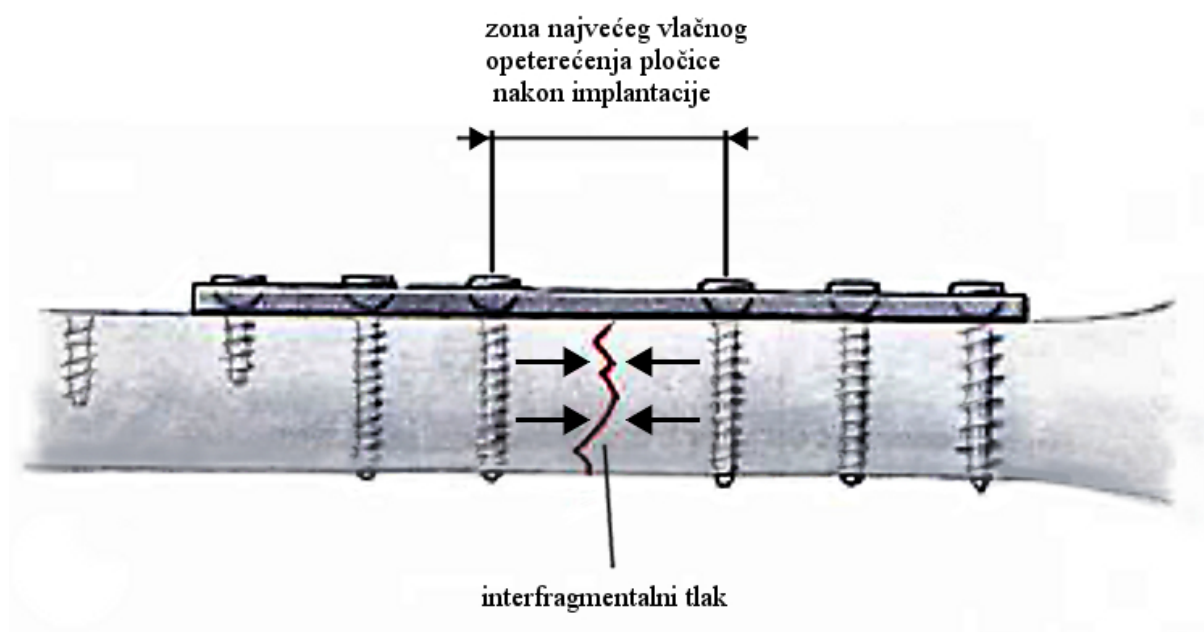
Često je potrebno pločice savijati i uvijati da bi se prilagodila konturi kosti. Također je potrebno savinuti pločicu prije razvlačenja priteznikom kako bi se povoljno ponašala prilikom pritezanja i da bi se ciljano postigla kompresija na točno određenom mjestu između ulomaka. Prije savijanja pločice koja je inače od nekog kvalitetnog čelika ili titana, koristi se pomoćni model od aluminijske pločice koji se lako prstima deformira prema obliku kosti, nakon toga se prema tom modelu savija pločica sa posebnim alatima za tu svrhu (Slika 15.).



Slika 15. a) Aluminijски model za savijanje prstima, b) prema aluminijском modelu se savija pločica, c) kliješta za savijanje, d) preša za savijanje i savijač [7]

5.2.7. Priteznici

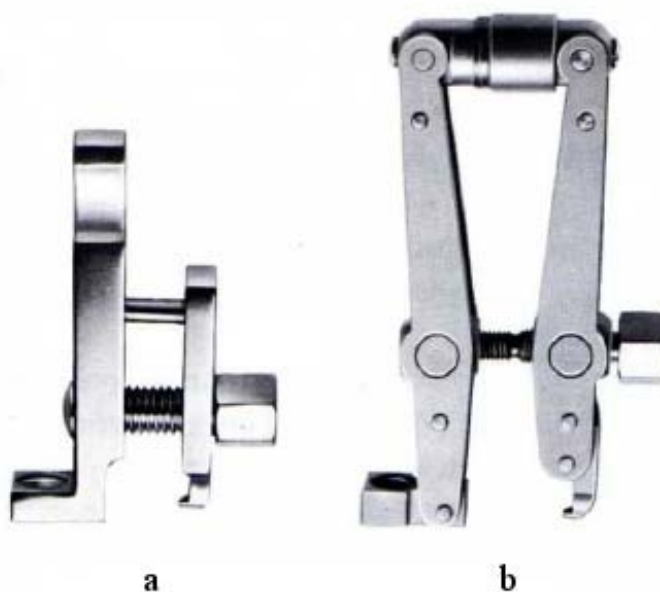
Priteznik je standardni instrument za osteosintezu. Njihova osnovna svrha je postizanje interfragmentarnog tlaka. To se ostvaruje tako da priteznikom vlačno opteretimo i deformiramo pločicu koja se u takvom napregnutom stanju postavlja i fiksira na ulomke. Kako je pločica napregnuta i deformirana ona se želi rasteretiti, pri tome između ulomaka nastaje trenje i tlak povoljan za povećanje krutosti ovakve osteosinteze i potreban za uspješno cijeljene kosti (Slika 16.).



Slika 16. Stanje naprezanja nakon implantacije pločice

Samo metodom prednaprezanja pločice moguće je ostvariti kvalitetnu osteosintezu, jer u suprotnom između ulomaka neće biti trenja ili će ostati mala zračnost koja će dozvoliti pomicanje ulomaka. U tom slučaju sva naprezanja preuzima pločica na sebe. To je jako nepovoljno jer pločica uglavnom ne može izdržati tolika naprezanja te puca. Ukupna duljina kosti nakon prijeloma je dulja za širinu pukotine, takva kost nakon cijeljenja nepotrebno opterećuje zglobove, taj problem se također rješava prednaprezanjem pločice. Navedeni se nedostaci mogu donekle riješiti sa modernim pločicama u kombinaciji sa vijcima jer omogućuju postizanje aksijalne kompresije bez priteznika.

No priteznici su razvijeni za slučajeve gdje je potreban veći hod i sile više od 1000N, jer samo pomoću vijaka to nije moguće postići. Preporučuje se njegova uporaba kod kompresije femura i humerusa gdje je hod obično veći od 1-2mm, kao i za kompresiju kod osteomije. U osteosintezi su se koristile razne varijante priteznika, neke od njih su napuštene, danas se najčešće koristi zglobni priteznik (Slika 17.b). Zglobni priteznik danas je standard u osteosintezi i opremljen je sa primitivnim i nepreciznim dinamometrom koji je baždaren bojama. Pritezanjem do zelene boje postiže se sila od 500N, a pritezanjem do crvene boje sila od 1200N. Kod današnjih priteznika ima dosta prostora za poboljšanje jer se tlak obično narine pema osjećaju pa se događa da uslijed prevelikog i preslabog interfragmentarnog tlaka kost ne zacijeli ili se produži vrijeme cijeljenja. Problematika priteznika i njegove primjene bit će opisana u narednim poglavljima.



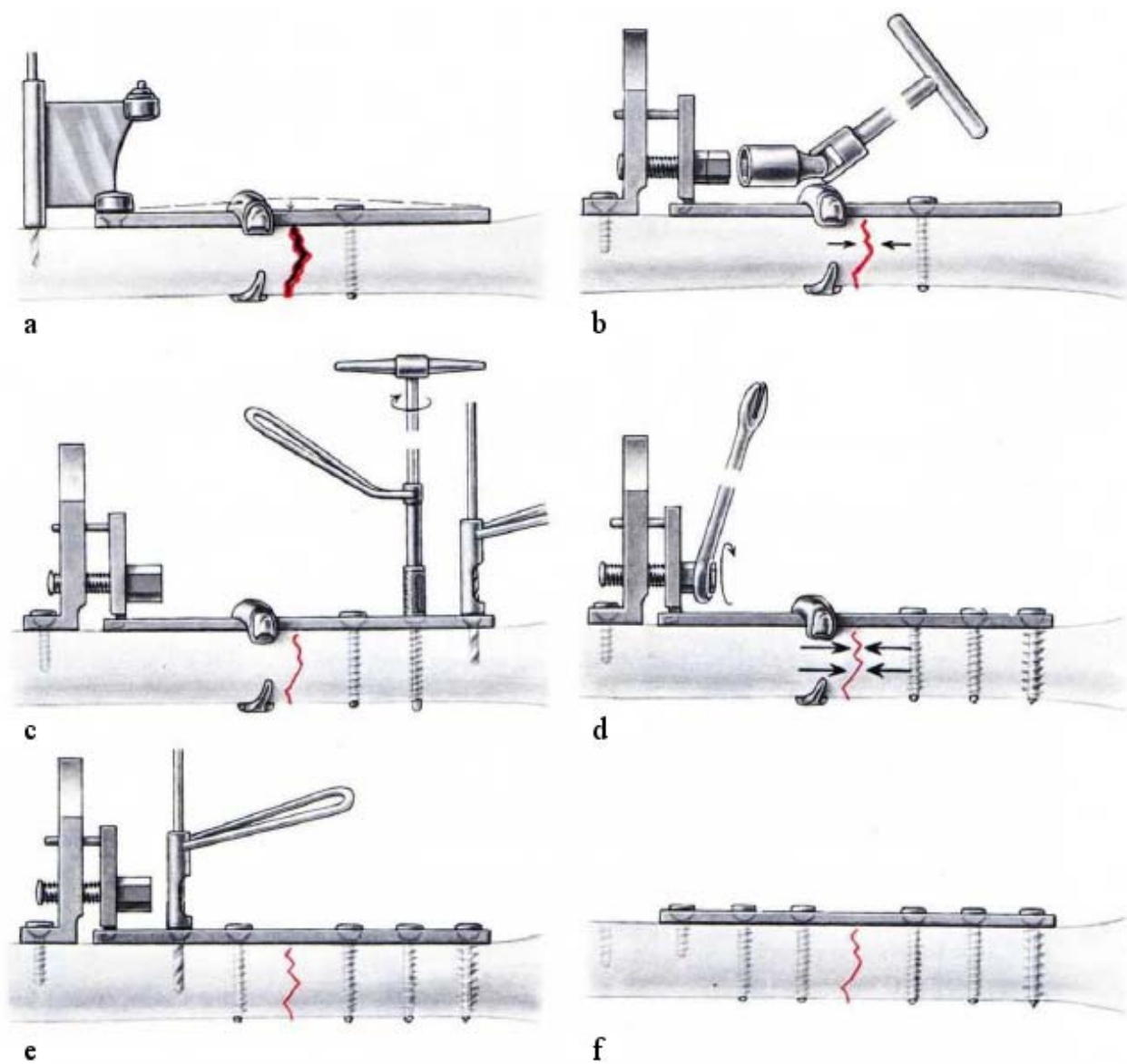
Slika 17. a) Priteznik hoda 8mm, b) Priteznik sa dinamometrom [7]

6. PROBLEMATIKA PRIMJENE I VARIJANTE PRITEZNIKA

6.1. Primjena priteznika

Ovdje se opisuje postupak pritezanja sa standardnim priteznikom (Slika 18.). Prije postupka pritezanja mora se prvo iznad prijeloma otvoriti koža i tkivo, te pomaknuti mišiće. Otvor se osigura raznim pomagalicama kako bi se nesmetano moglo obaviti pritezanje. Redoslijed pritezanja je sljedeći:

- a) U jednom ulomku se na udaljenosti oko 1cm od prijeloma probuši otvor Ø3,2mm kroz oba kortikalisa. Zatim se narežu navoji i pravilno pozicioniraju ulomci. Postavlja se pločica koja je ovisno o situaciji predsavinuta ili ravna, te se lagano pritegne sa kortikalnim vijkom. Prijelom se učvrsti samocentrirajućim kliještima, a na drugom ulomku se pomoću vodilice za svrdlo izbuši rupa Ø3,2mm i narežu navoji kroz jedan ili oba kortikalisa, ovisno o stanju kosti.
- b) Priteznik se postavlja tako da sa svojom kukom zakvači pločicu kroz zadonju rupu, a na drugi ulomak se pričvrsti sa kortikalnim vijkom. Zatim se lagano kardanskim ključem pritegne kako bi se postigla idealna repozicija.
- c) Sad kad su ulomci pravilno pozicionirani i prednapregnuti slijedi uvrtnje ostalih vijaka u prvi ulomak. Rupe od 3,2mm buše se pomoću duge vodilice, tako da su sve jednako centrirane. Kod narezivanja nareza okolno se tkivo zaštititi štitnikom za tkiva
- d) Priteznik se priteže i stvara interfragmentarni tlak. Kardanskim ključem mogu se postići sile u vretenu priteznika do 450N a vilastim ključem do 1200N i više. Sila koja se narine ovisi o samom pacijentu i tipu loma.
- e) Kako su ulomci napregnuti i stabilizirani provjeri se još jednom njihova pozicija, zatim se mogu umetnuti ostali vijci u drugi ulomak.
- f) Priteznik se ukloni, te se u zadnju rupu stavi kratki vijak kako ne bi došlo do naglog skoka krutosti osteosinteze. Dok rupa u kojoj je bio vijak koji je spajao drugi ulomak sa priteznikom ostaje prazna.



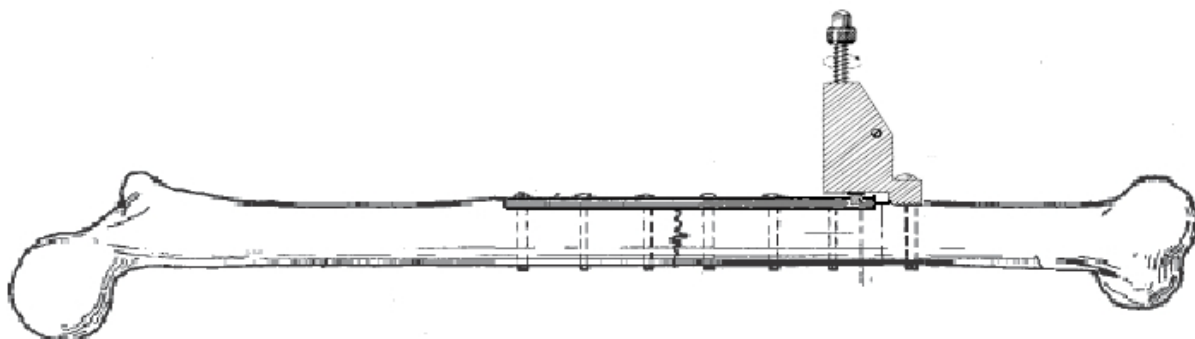
Slika 18. Postupak pritezanja pomoću priteznika [7]

6.2. Varijante priteznika

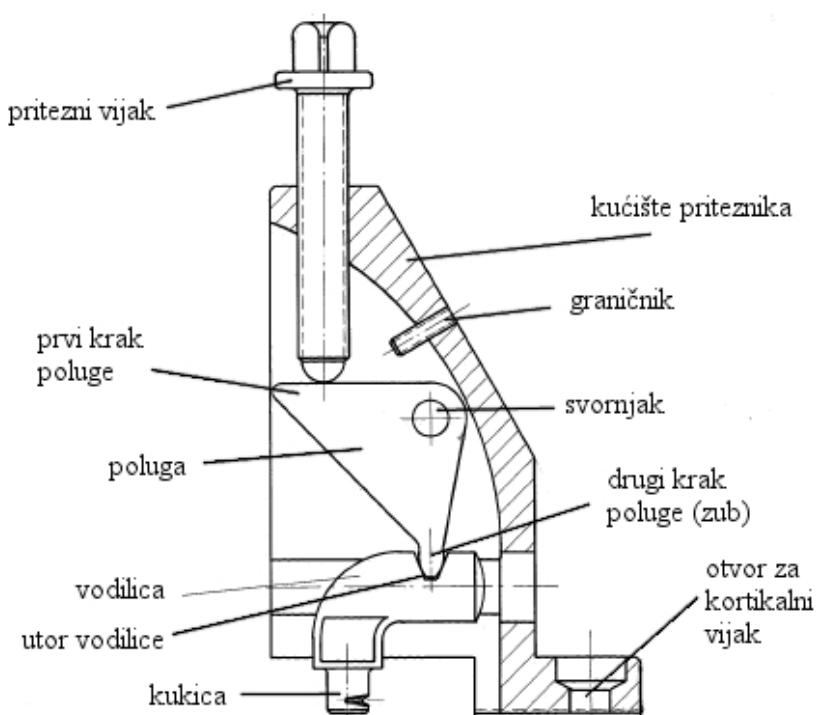
6.2.1. Prva varijanta priteznika

Postoji nekoliko varijanti priteznika, ovde ću okvirno opisati njihov način rada. Prvi priteznik se iznutra sastoji od poluge u obliku trokuta koja se pod djelovanjem priteznog vijka rotira oko svornjaka i povlači vodilicu (

Slika 20.). Drugi krak trokutne poluge izveden je u obliku zuba koji se upari s vodilicom. Vodilica i kuka čine jednu cjelinu. S gornje strane kućišta je rupa s navojem kroz koju je uveden pritezni vijak. Uvrtanjem vijka ostvarujemo pomak prema dolje i tako zakrećemo polugu oko svornjaka. Time se sila u vijku se prenosi na vodilicu koja kad se zakvači kukom na pločicu ju povlači. Dosjed između trokutne poluge i svornjaka je labav. Pritezanje se vrši ključem. Kroz kućište ovog priteznika uveden je još jedan mali M3 uvrtni vijak koji služi za namještanje početnog položaja vodilice tj. kuke i sprječava ispadanje zuba iz vodilice u slučaju prekomjernog odvrtanja priteznog vijka. Definiranje početnog položaja je važno zato što se tijekom operacije koriste vodilice za svrdlo kojima se omogućuje bušenje rupe za priteznik na točno određenoj udaljenosti od zadnje rupe na pločici. Tako se na pritezniku može uskladiti udaljenost od kuke do rupe za vijak da bude ista kao i kod vodilice za svrdlo. Priteznik ima hod od 16mm i nemoguće je kontrolirati silu prilikom stezanja. Zato je bitno iskustvo kod upotrebe ovakvog priteznika, sve se svodi na razvijanje osjećaja za trenutak kada treba prestati sa pritezanjem. Još jedan nedostatak ovog priteznika je tendencija kosti da se zarotira prilikom pritezanja u smjeru rotacije. Prednost priteznika su male dimenzije, čvrsto kućište i dosta manevarskog prostora jer je vijak za pritezanje s gornje strane.



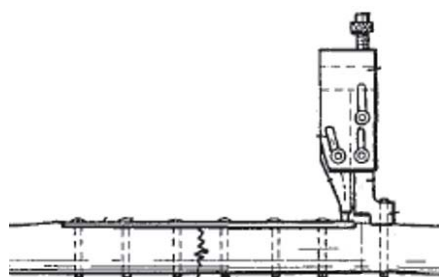
Slika 19. Prva varijanta priteznika [9]



Slika 20. Presjek prve varijante priteznika [9]

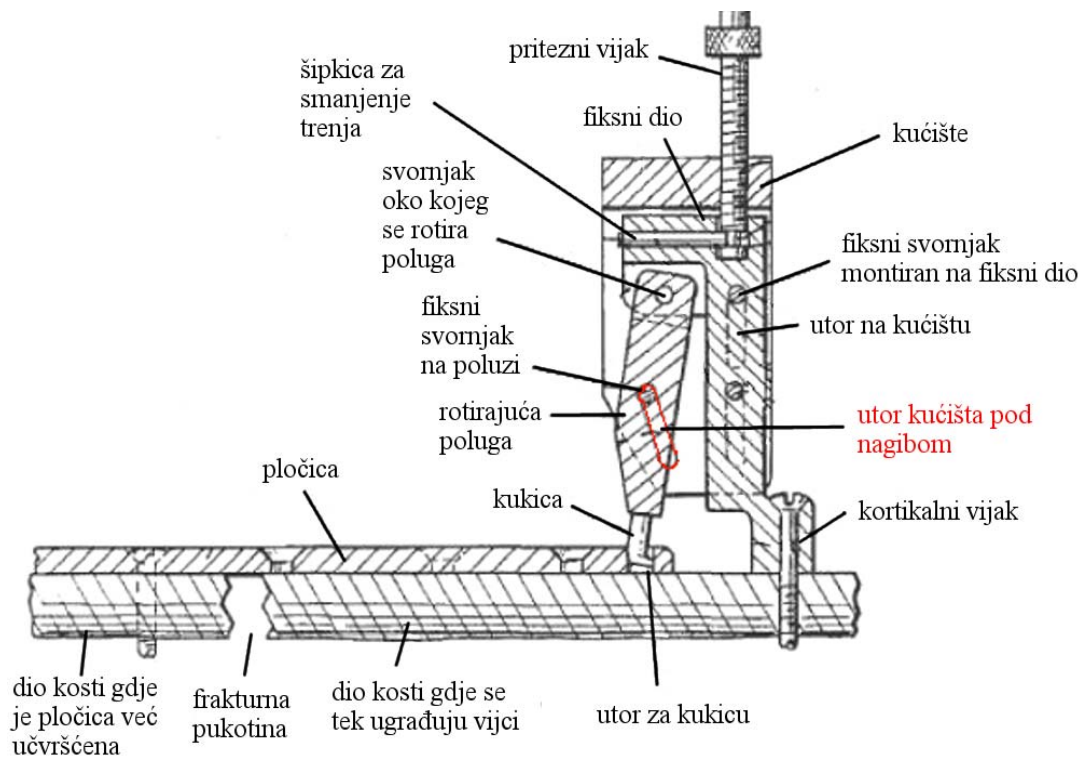
6.2.2. Druga varijanta priteznika

Druga varijanta priteznika je odgovor na probleme koji su se javljali u primjeni nekih drugih tehničkih rješenja priteznika. Glavna mana pojedinih priteznika je da prilikom pritezanja imaju tendenciju zavrnuti ili zarotirati dijelove kostiju koje međusobno kompresiraju. Ovdje je to riješeno time što su sva gibanja translacijska i to u vertikalnom smjeru u odnosu na kost. Osim toga kod ovog priteznika slično kao i kod prethodnog je gornje strane pritezni vijak, pa tako se ima dosta prostora za rukovanje. Također i ovaj priteznik je kompaktnih dimenzija pa je i potreban manji rez.

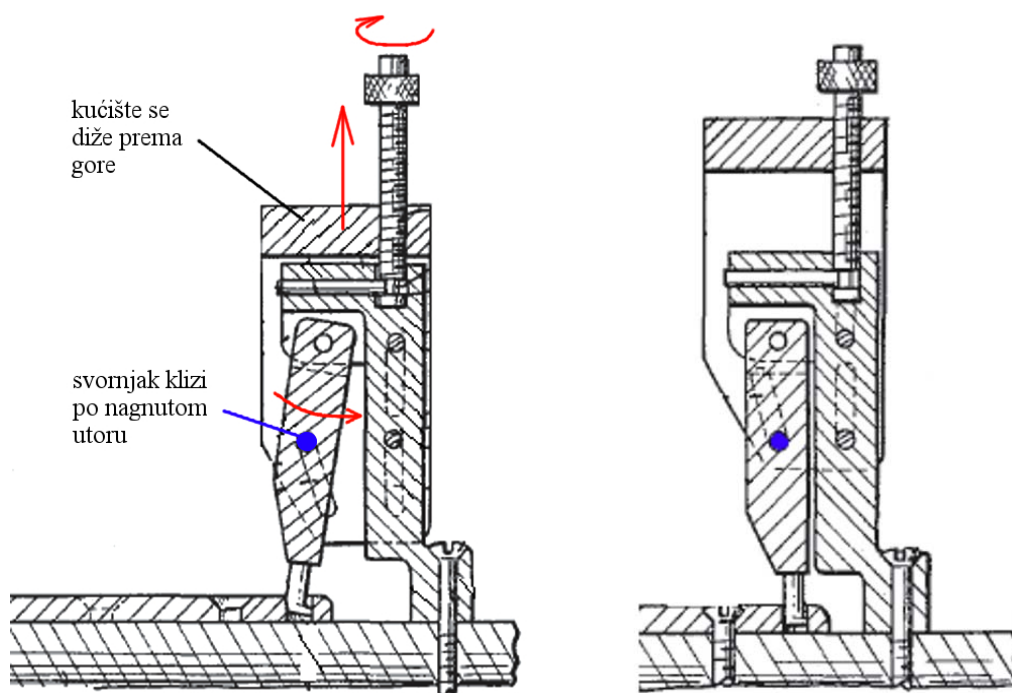


Slika 21. Druga varijanta priteznika [9]

Fiksni dio priteznika je na kost privršćen kortikalnim vijkom, a na vrhu je rupa kroz koju je proveden pritezni vijak. Pritezni vijak se naslanja na šipkicu koja je provedena kroz fiksni dio, ona smanjuje trenje uslijed pritezanja i tako omogućuje pritezanje prstima bez alata. Pomično kućište prekriva fiksni dio priteznika, ono na sebi ima tri klizna utora a na vrhu rupu s navojem kroz koju ide pritezni vijak. Unutar kućišta se nalazi i rotirajuća poluga koja ima dva provrta kroz koje su provedeni svornjaci. Gornji svornjak omogućuje poluzi rotaciju, dok donji je proveden kroz kosi klizni utor kućišta. Donja strana poluge oblikovana je u kukicu koja ide u pločicu.



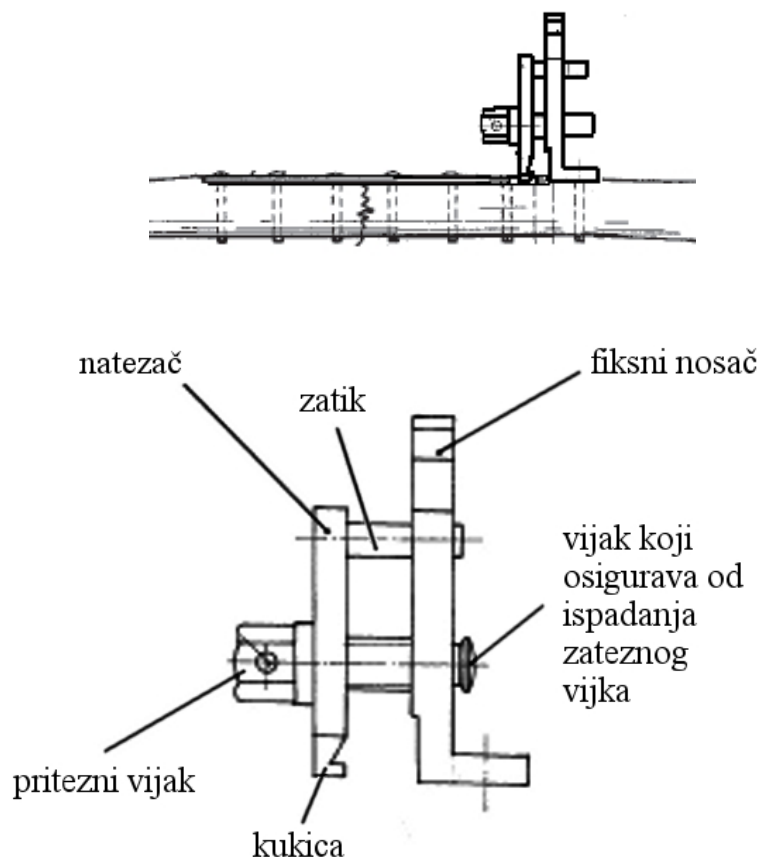
Slika 22. Presjek druge varijante priteznika [9]



Slika 23. Princip rada i krajnji položaji priteznika [9]

Princip rada priteznika (Slika 23.) svodi se na prisilnom vođenju svornjaka kroz utor kućišta. Pritezanjem vijka koji je uležišten u fiksnom dijelu, pritišće se fiksni dio i istovremeno se kućište diže prema gore. Utori u kućištu vode svornjake, a svornjak poluge klizi kroz kosi utor i prisiljava tj. rotira polugu prema fiksnom dijelu priteznika, znači kukica se primiće prema fiksnom dijelu.

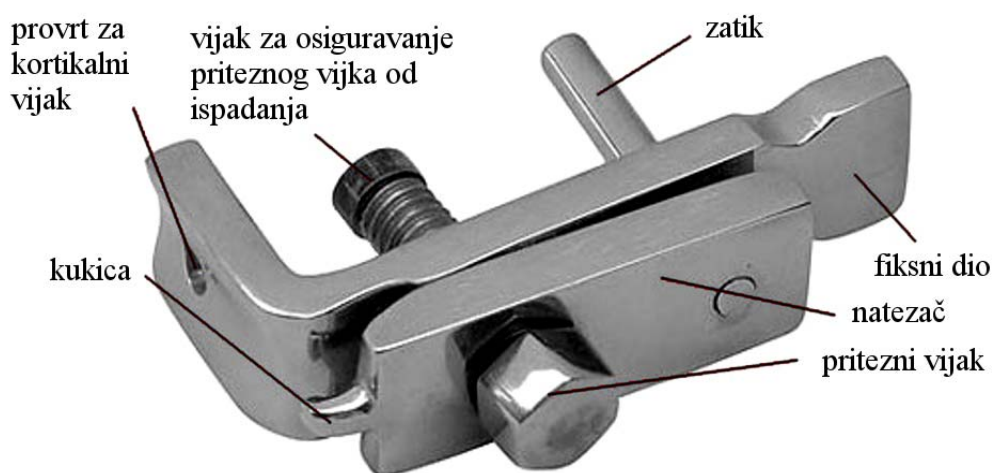
6.2.3. Treća varijanta priteznika



Slika 24. Treća varijanta priteznika [9]

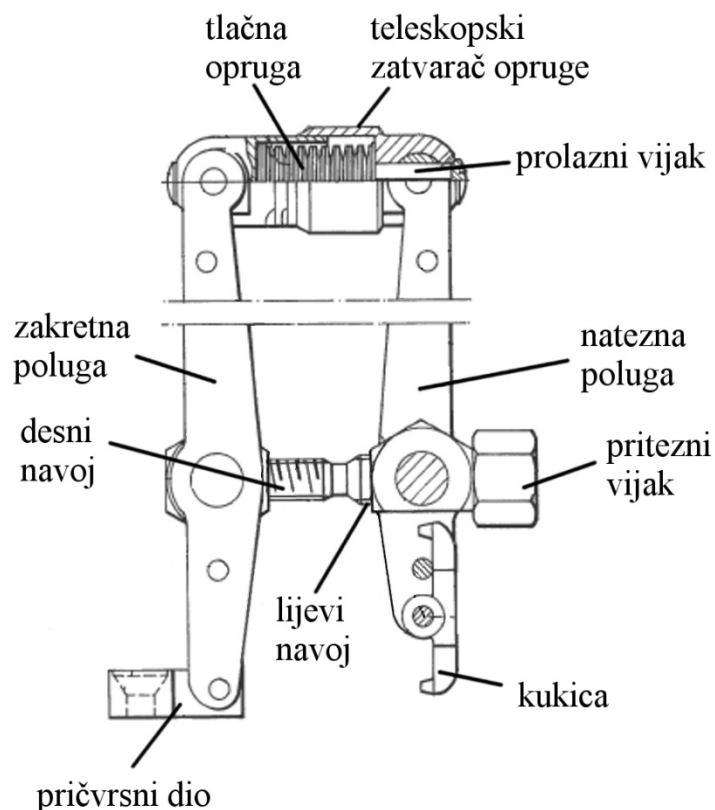
Ovo je najjednostavnija izvedba priteznika (Slika 24.), ima mali broj dijelova i relativno često se koristi. Sastavljen je od fiksnog nosača i natezača kroz koje su provedeni pritezni vijak i zatic. Natezač i kukica su jedan dio. Princip se temelji na pomaku natezača uslijed pritezanja vijka. Pritezanjem vijka primiće se nateznik prema fiksnom nosaču, a odvrtanjem vijka se odmiče. Zatic je čvrsto spojen sa natezačem te čine jednu cjelinu. Zatic ima funkciju stabilizacije i vođenja cjelokupnog mehanizma, tako sprječava rotaciju natezača oko zateznog vijka i njegovu tendenciju da se nagnje prema fiksnom nosaču uslijed momenta koji stvara natezni vijak oko kukice. Na kraju zateznog vijka nalazi se osigurač od ispadanja, on također služi i za namještanje početnog položaja u razmaknutom stanju. Priteznik ima hod oko 8-10mm.

Priteznik iako je dosta jednostavan ima svoje mane. Najveći je problem to što je zatezni vijak prenisko pozicioniran, pa preostaje jako malo prostora za rukovanje alatom, što otežava postupak operacije. Zbog specifične konstrukcije ipak prilikom pritezanja se natezač malo nagne prema fiksnom dijelu što dovodi do toga da tlak po presjeku pukotine nije jednakog iznosa, već je s gornje strane veći a s donje strane je dosta manji ili čak ga ni nema. Zbog toga se pločica mora adekvatno pripremiti tj. predsavinuti. Pločica se onda prilikom kompresije ulomaka opet ispravi ali njena zaostala unutarnja naprezanja tlače donji dio pukotine što vodi konačnom izjednačavanju raspodjele tlakova. Još jedna mana ovakve izvedbe je u tome što se u navoju između priteznog vijka i natezača javlja trenje koje je razmjerno sili u vijku. Kako se pritezanje dozira prema osjećaju onda pojava trenja otežava procjenu kada treba prestati pritezati. Najveća prednost mu je što je jednostavne izvedbe i ima mali broj dijelova.



Slika 25. Kataloški primjer priteznika [9]

6.2.4. Četvrta varijanta priteznika



Slika 26. Četvrta varijanta priteznika [9]

Ovaj priteznik je sastavljen od zakretne i natezne poluge kroz koje je proveden pritezni vijak, a s gornje strane poluge su međusobno spojene sklopom za mjerenje sile kompresije. Priteznik ima pet zglobova (Slika 26.). Pritezni vijak ne sebi ima dva različita navoja, desni navoj je manjeg promjera a lijevi je većeg promjera, time je omogućena montaža ovog priteznika. Oba navoja imaju isti korak. Izvedeni su tako jer pritezanjem želimo međusobno privlačiti poluge, ako bi oba navoja bila istog smjera ne bi došlo do međusobnog približavanja, nego bi se poluge pomicala u istom smjeru u odnosu na pritezni vijak. Vijak je sa polugama spojen preko priteznih zglobova, to su u biti svornjaci koji imaju sjedište u polugama i koji u sebi imaju rupu sa navojem kroz koju ide pritezni vijak. Time je omogućena rotacija poluga oko zglobova a istovremeno njihovo

primicanje zatezanjem vijka. Poluge su napravljene od dvostrukih limova međusobno razmaknutih kako bi se mogao između njih ugraditi pričvrtni dio, sklop za mjerenje sile, kukica i pritezni zglobovi s vijkom. Limovi su obično debljine 2,5-3mm i izrađuju se štancanjem, a spojeni su međusobno zakovicama. Kukica i sklop za mjerenje su također spojeni zakovicama za poluge.

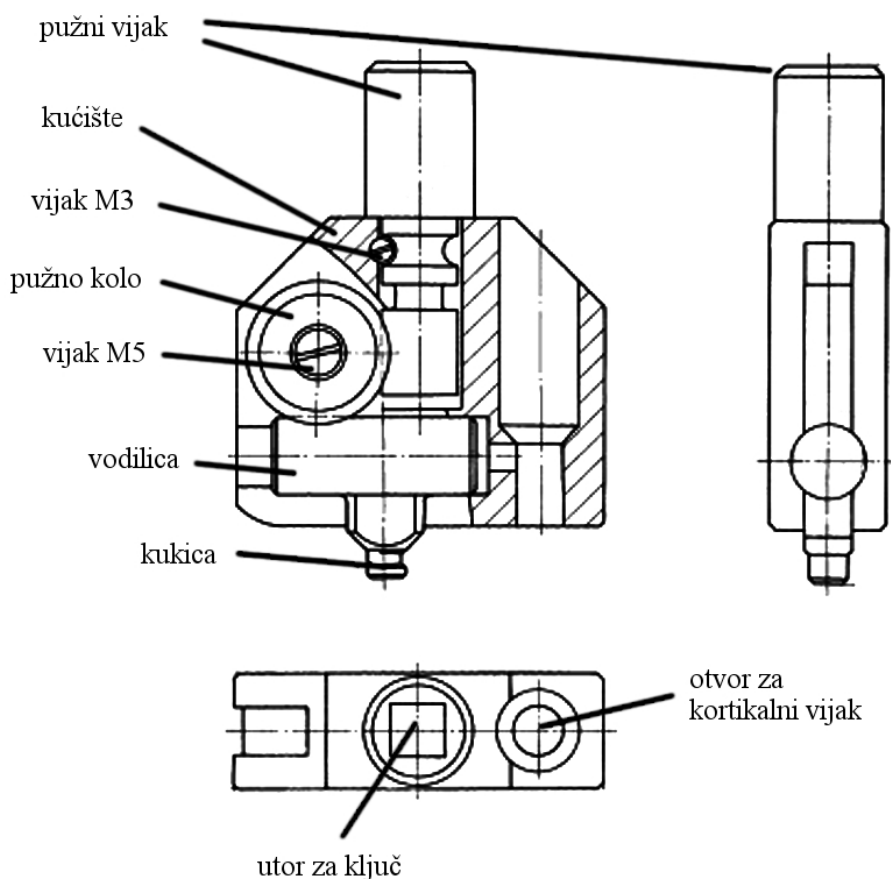
Kukica se može okrenuti za 180° te poslužiti za razdvajanje ulomaka. Ovaj priteznik za razliku od svih drugih nudi mogućnost mjerenja sile kompresije. Sklop za mjerenje sastoji se od tlačne opruge koja je smještena unutar teleskopskog zatvarača između poluga, kroz koju prolazi vijak. Vijak sprječava prekomjerno širenje poluga da opruga ne ispadne van. Sistem za mjerenje je jednostavan, ali problem je u tome što je baždaren u bojama ili nepreciznom skalom i prema tome je praktički beskoristan, mogu se samo okvirno očitati sile. Tako se i kod ovog priteznika manje više pritezanje dozira prema osjećaju.



Slika 27. Kataloški primjer priteznika [10]

6.2.5. Peta varijanta priteznika

Kod ove varijante priteznika koristimo veliki prijenosni omjer pužnog prijenosnika. Sastoji se od kućišta kroz koje je na vrhu uveden pužni vijak koji je uparen s pužnim kolom. Pužno kolo je uležišteno u tijelu priteznika i sa svojim zubima spojeno direktno sa vodicom, koja klizi po kanalu kroz kućište. Vodilica i kuka čine jednu cjelinu. Kroz kućište je uveden i jedan mali M3 vijak, njegova funkcija je da spriječi ispadanje pužnog vijka, a po potrebi i omogućuje njegovu zamjenu ako se želi promijeniti prijenosni omjer. Princip funkcioniranja je jednostavan, ručno ili alatom se priteže pužni vijak i tako se zakreće pužno kolo koje pomiče vodicu. Nedostatak ovog priteznika je u tome što se kućište prilikom pritezanja pomiče prema pločici i tako prekriva rupe za vijke, te se može koristiti samo u kombinaciji sa pločicama koje imaju velik razmak rupa.



Slika 28. Peta varijanta priteznika [9]

6.3. Definicija problema

Priteznici su zbog svojih mana izgubili na popularnosti, te ih polako iz upotrebe istiskuju moderne pločice koje mogu u kombinaciji s vijcima ostvariti aksijalnu kompresiju. Navedeni priteznici imaju manje više iste mane, svi se moraju pritezati alatima ili prstima na licu mjesta, tako prilikom pritezanja dolazi do mrđanja i tresanja što povećava opasnost od pomicanja ulomaka i zahtjeva njihovu ponovnu repoziciju. Također teško je raditi u takvim uvjetima gdje ima jako malo prostora za manevriranje sa alatom, gdje se mora posebno paziti na pokrete kako ne bi slučajno napravili dodatnu štetu prilikom operacijskog zahvata. Drugi problem priteznika je nemogućnost mjerenja tlaka između ulomaka ni sile u vretenu, te se mora raditi prema osjećaju i iskustvu, pa se često desi da zbog nepovoljnog iznosa tlaka između ulomaka kost ne zacijeli ili se produži period cijeljenja.

Idealno bi bilo kada bi priteznik bez pretvorbe sile na licu mjesta mogao direktno ostvariti linearan pomak, jer svaka transformacija iz rotacije u translaciju izaziva reakcijski moment na kućištu. Ako se kućište ne pridržava rukom prilikom pritezanja onda se reakcijski moment prenosi na ulomke, te postoji opasnost da se pomaknu. Opet teško je i pridržavat rukom na tako malo prostoru, zato bi bilo najbolje da je priteznik izveden tako da direktno linearno povlači dio koji je pričvršćen za ulomak. Osim toga trebao bi nuditi mogućnost mjerenja sile prema kojoj se može onda izračunati tlak kompresije između ulomaka ovisno o površini presjeka kosti. Računanje za vrijeme operacije bi se moglo zamijeniti sa unaprijed napravljenim proračunima zapisanim u tablici, u kojoj bi za određene promjere kosti i druge parametre poput mjesta prijeloma, dobi pacijenta i ostalo, bila predviđena određena sila pritezanja. Važno je napomenuti da je bitno da sistem za mjerenje bude mehanički, bez elektronike i baterija, tako se ne mora voditi brige o stanju baterija, dali ih potrebno mijenjati ili puniti. Kompaktnost priteznika također je poželjna, da bi rez bio što manji a isto tako s druge strane bi trebalo biti dovoljno mjesta za vijke da se mogu slobodno umetnuti, tj priteznik ne bi smio otežati umetanje vijka u predzadnju rupu pločice. Na kraju, da bi se mogao uopće koristiti u operativne svrhe treba biti sterilan, zato mora biti izrađen od materijala koji se da sterilizirati.

7. SMJERNICE RAZVOJA

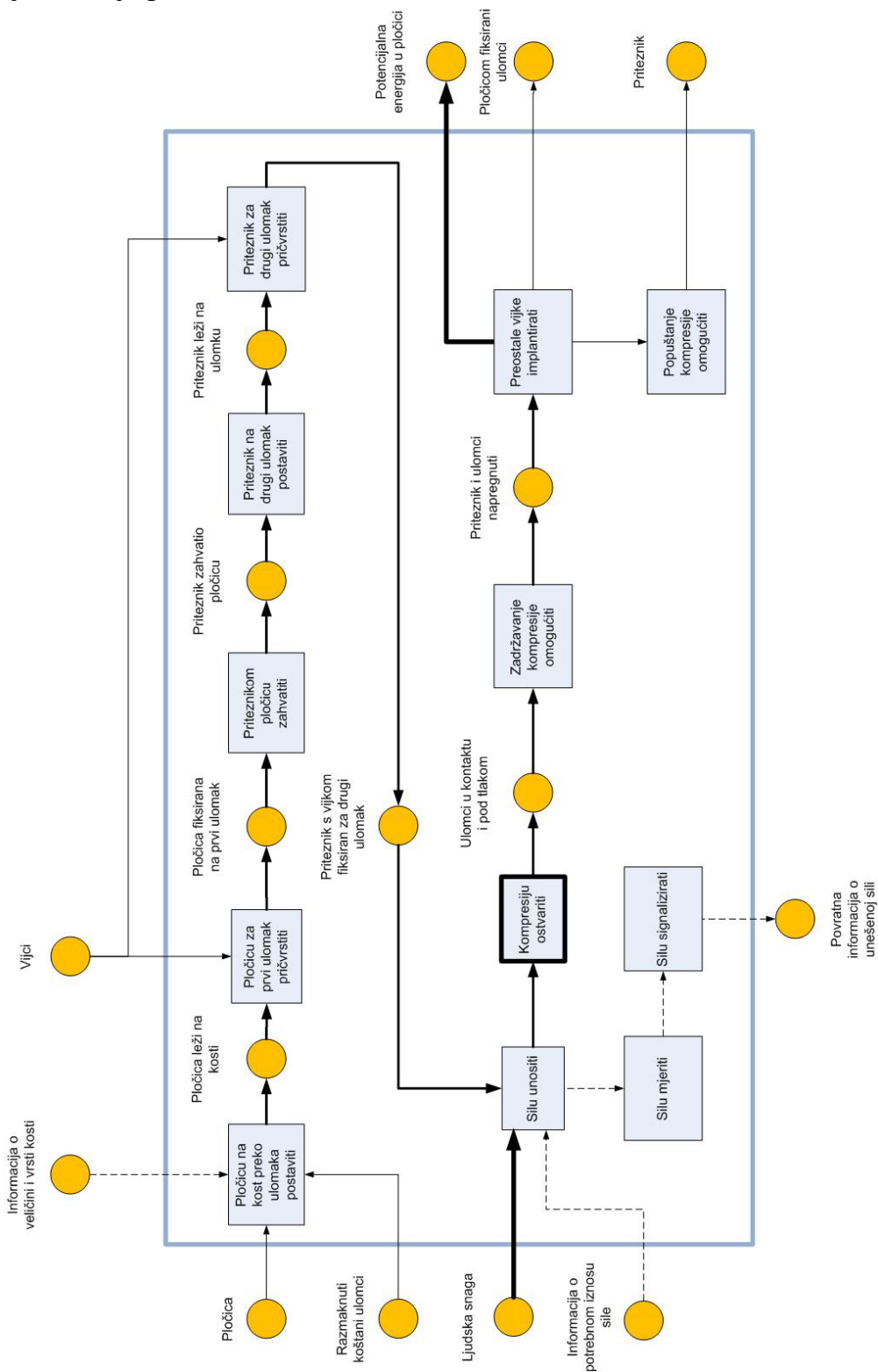
Problem koji treba riješiti je pouzdano i uspješno pritezanje ulomaka. Cilj je kompresirati ulomke i zadržati ih u napregnutom stanju dok se sa pločicom i vijcima ne fiksiraju. Na temelju izloženih primjera raznih varijanti priteznika i problematike vezane za njihovu upotrebu poprilično je jasno u kojem smjeru orijentirati daljnje smjernice razvoja.

Priteznik bi trebao ispuniti u najboljem slučaju sve ili što više ovdje navedenih zahtjeva:

- jednostavnost postavljanja
- jednostavnost korištenja
- mogućnost sterilizacije
- kompaktnost
- krutost
- mogućnost mjerenja sile
- mogućnost zadržavanja kompresije
- pritezanje ljuskom snagom
- smanjiti broj korištenih alata
- pritezanje bez stvaranja reakcijskog momenta na ulomcima
- pritezanje bez mrđanja i vibracija



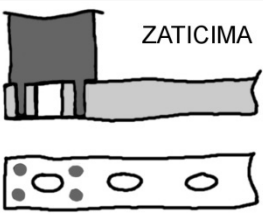

8. FUNKCIJSKO MODELIRAJNE PRITEZNIKA

Modeliranje funkcija pomoću toka



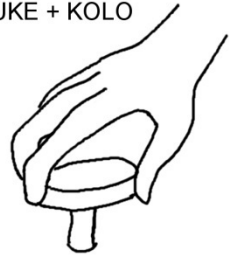


Slika 29. Funkcijska struktura uređaja

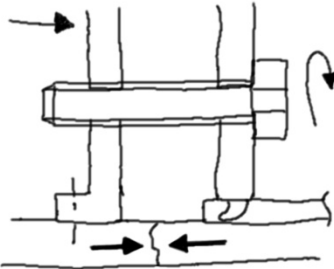
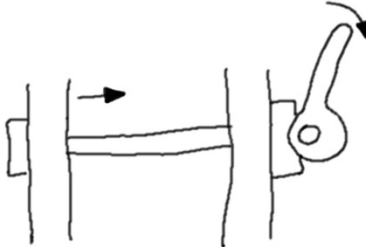

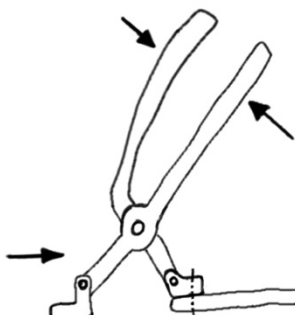
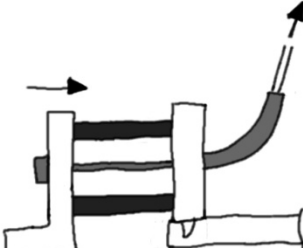

9. MORFOLOŠKA MATRICA

PRITEZNIKOM PLOČICU ZAHVATITI	
<p>KUKICOM</p> 	<p>UKLJEŠTENJEM</p> 
<p>ZATICIMA</p> 	<p>OBLIKOM - UDUBLJENJIMA SA STRANE</p> 
VIJCIMA	

Tablica 1. Priteznikom pločicu zahvatiti

SILU UNOSITI	
<p>RUKE + KLIJEŠTA</p> 	<p>NOGE + PAPUČICA</p> 
<p>KLJUČEM - ODVIJAČEM</p>	<p>RUKE + KOLO</p> 
<p>ELEKTROMOTOROM</p>	

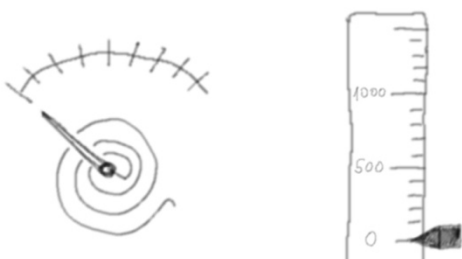

Tablica 2. Silu unositi

KOMPRESIJU OSTVARITI	
<p>PRITEZANJEM VIJKA</p> 	<p>EKSCENTROM</p> 
<p>PUŽNIM PRIJENOSOM</p> 	<p>POLUŽNIM PRIJENOSOM</p> 
<p>POVLAČENJEM UŽETA</p> 	<p>VOĐENJEM KROZ ŽLIJEB</p> 

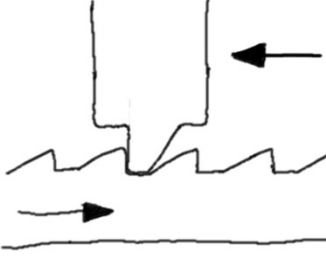
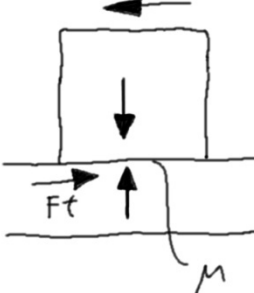
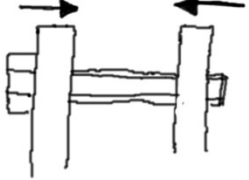
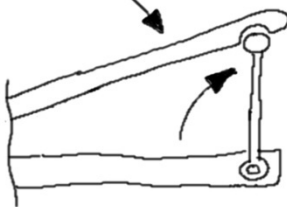
Tablica 3. Kompresiju ostvariti

SILU MJERITI		
TLAČENJEM OPRUGE	RAZVLAČENJEM OPRUGE	UVIJANJEM OPRUGE
SAVIJANJEM ŠIPKE	KALIBRIRANOM SPOJKOM - ČEGRTALJKOM	
ELEKTROOTPORNIČKIM TENZOMETROM		OTPORNIKOM OSJETLJIVIM NA SILU - PRITISAK

Tablica 4. Silu mjeriti

SILU SIGNALIZIRATI	
<p>SKALOM BAZDARENOM U NEWTON - IMA</p> 	<p>NIZ LE DIODA</p> 
LCD DISPLAY	RAČUNALO MONITOR

Tablica 5. Silu signalizirati

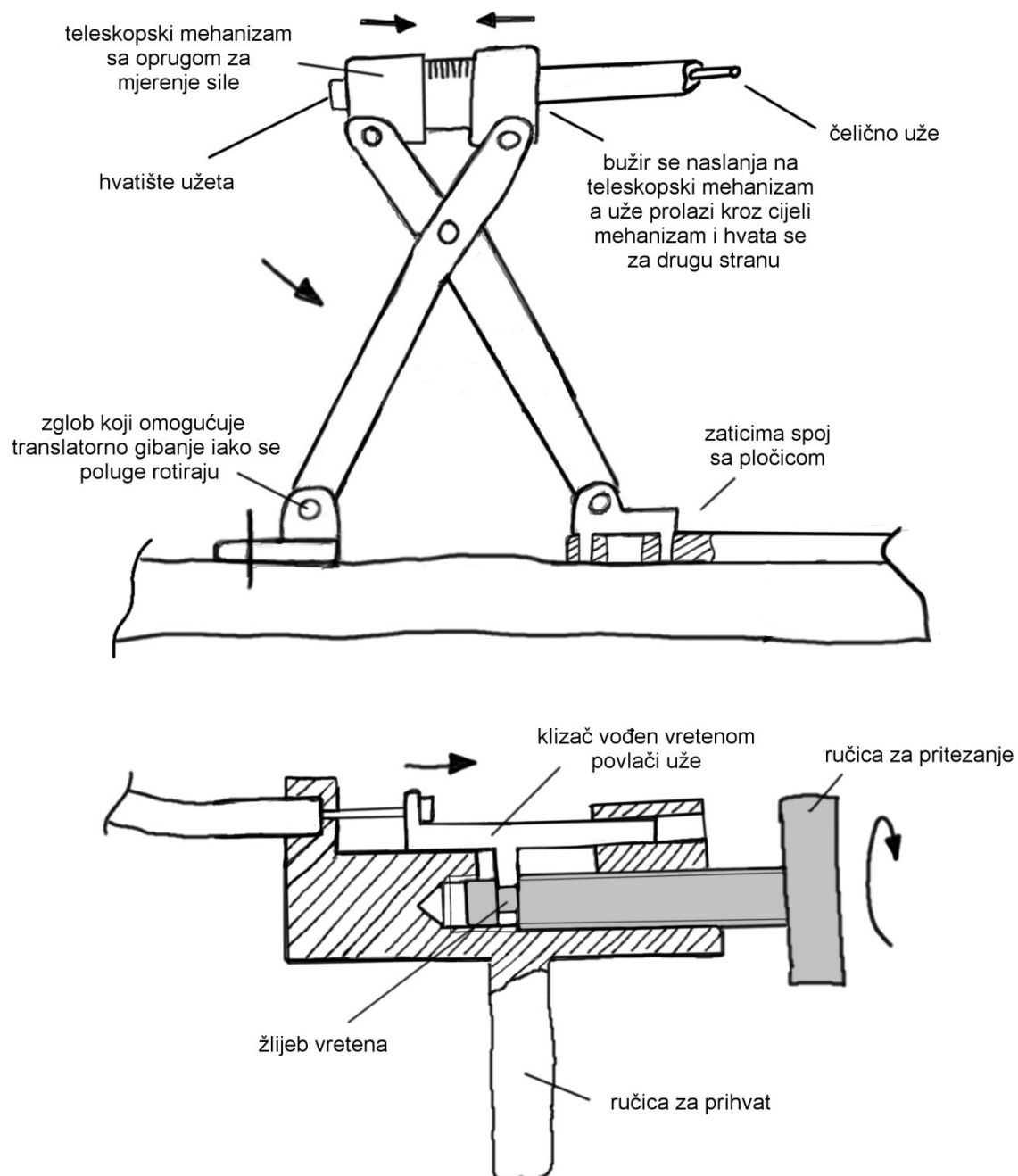
ZADRŽAVANJE KOMPRESIJE OMOGUĆITI	
<p>OBLIKOM - ZUBIMA</p> 	<p>TRENJEM</p> 
<p>SAMOKOČENJEM VIJKA</p> 	<p>ZAGLAVLJIVANJEM</p> 

Tablica 6. Zadržavanje kompresije omogućiti

10. KONCEPTI

10.1. Prvi koncept

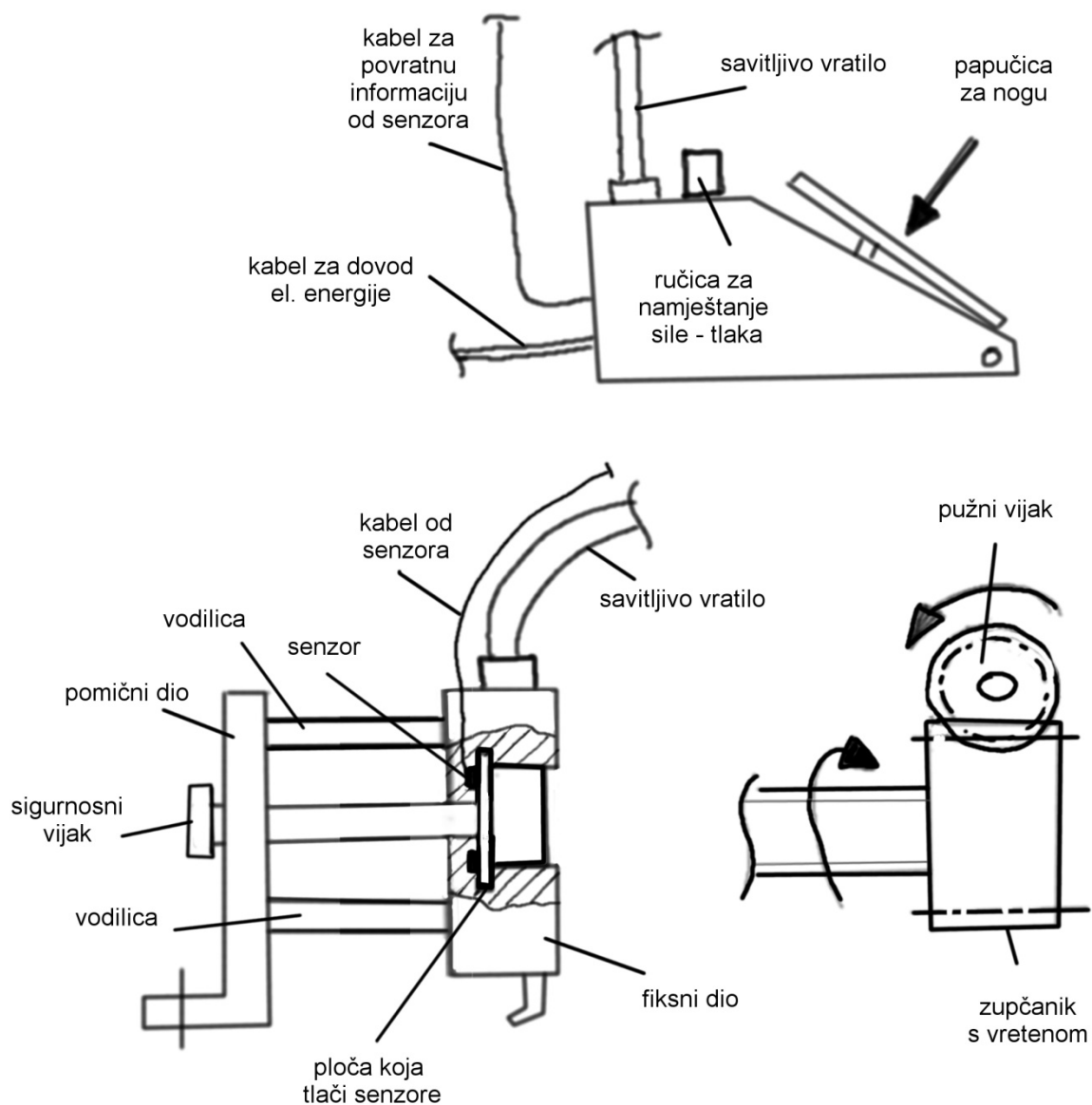
Ovaj koncept priteznika (Slika 30.) sastoji se od dvije odvojene cjeline povezane čeličnim užetom. Ovakvom izvedbom moguće je razdvojiti mjesto unosa sile od mjesta djelovanja sile. Zbog problema s vibracijama tijekom pritezanja bolje je da mjesto unosa sile bude odvojeno od mjesta pritezanja. Unos sile vrši se pritezanjem ručice kojom zakrećemo vreteno dok se kućište drži u drugoj ruci. Vreteno ima narezan fini navoj i smješteno je u kućištu, na kraju ima žlijeb u koji je umetnut kljun klizača. Klizač je uležišten u kućištu i može se gibati uzdužno. Kad se vreteno zakreće ono uzdužno povlači klizač i uže koje je pričvršćeno na njega. Na drugom kraju bužir se naslanja na teleskopski mehanizam, a uže prolazi kroz mehanizam i naslanja se na suprotnoj strani. Mehanizam unutra sadrži oprugu koja se povlačenjem užeta deformira. Što je veća sila tako se opruga više deformira i tako možemo prema međusobnom položaju teleskopskih cilindara ako su baždareni očitati silu. Bužir je izrađen od kratkih cijevčica od nehrđajućeg čelika, serijski spojenih koje svojom geometrijom dozvoljavaju njegovo savijanje. Ostali dijelovi su također od nehrđajućeg čelika a to znači da se i daju sterilizirati. Fiksna poluga pričvršćena je za pločicu zaticima sa labavim dosjedom, ali kako je više njih umetnuto u pločicu ipak sprječavaju odvajanje poluge od pločice. Zadržavanje kompresije ostvaruje se sa samokočnošću navoja vretena.



Slika 30. Prvi koncept

10.2. Drugi koncept

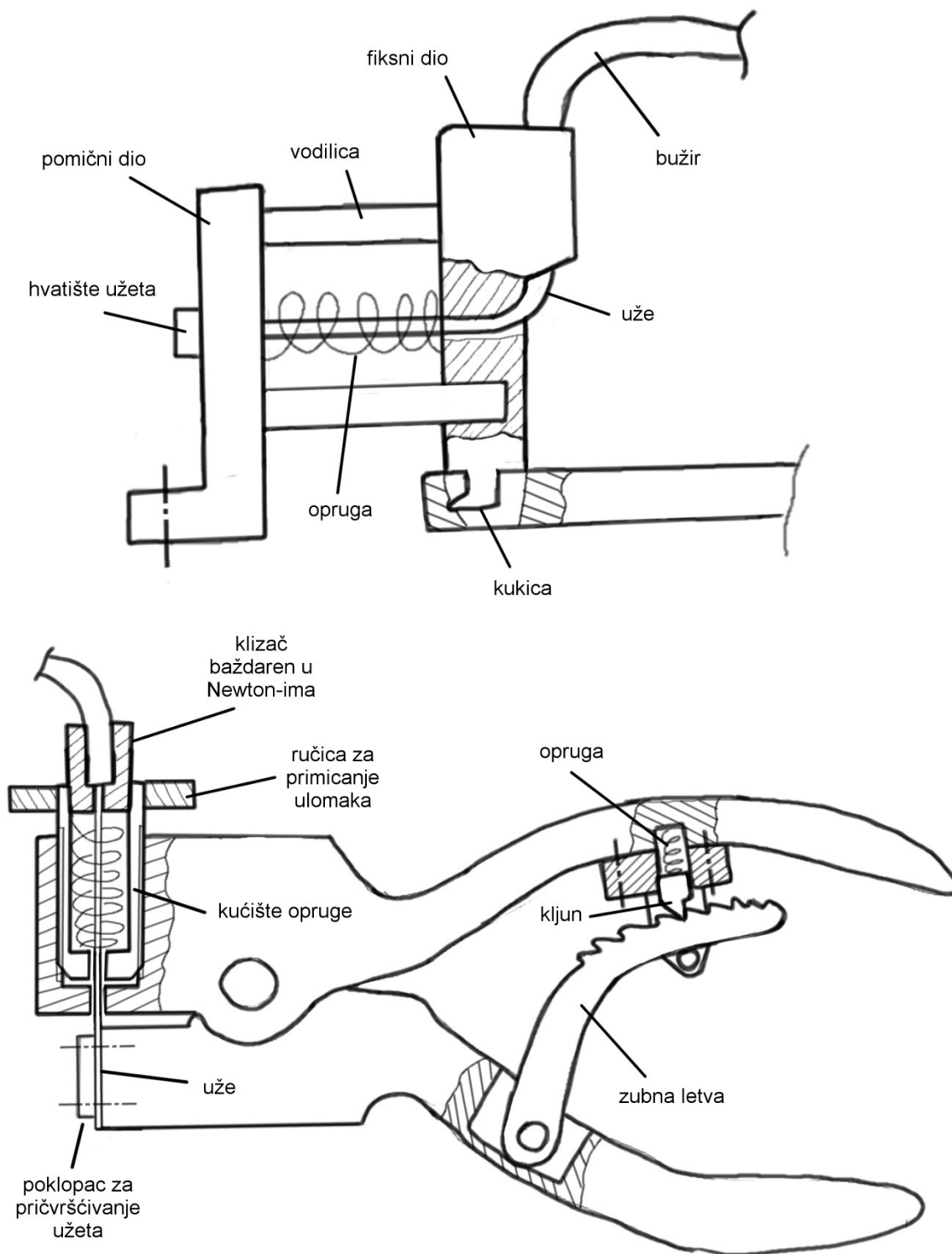
Kod ovog koncepta (Slika 31.) koristi se električna energija za ostvarivanje pomaka, kompresije i mjerenje. Priteznik se sastoji od papučice i priteznog sklopa. Unutar kućišta papučice nalazi se elektromotor i elektronički regulacijski sklop. Stiskanjem papučice pokreće se elektromotor i elektronički sklop. Od kućišta papučice do priteznog sklopa sila se prenosi savitljivim vratilom. Vratilo ulazi u nepomični nosač gdje moment prenosi na pužni vijak koji dalje zakreće zupčanik s vretenom. Vreteno ide dalje do pomičnog klizača u kojem je narezan navoj i kako se vreteno okreće tako povlači klizač. Između zupčanika i nepomičnog nosača nalazi se tlačna ploča oblika sličnog kao podložne pločice za vijke. Ispod te tlačne ploče nalaze se elektrootpornički senzori. Kako vreteno privlači klizač tako zupčanik tlači ploču koja opet tlači senzore. Senzori šalju signal u papučicu. Na papučici se nalazi ručica za namještanje sile, kojom se može namjestiti granična sila pri kojoj elektromotor prestaje raditi. Kod ovakve izvedbe priteznika nije potrebna signalizacija, nego se jednostavno prema dimenzijama kosti i drugim parametrima namjestiti sila potrebna za kompresiju ulomaka i čeka dok se ne postigne, tada se elektromotor gasi. Zadržavanje kompresije omogućeno je trenjem u navoju vretena. Krutost osiguravaju dvije vodilice a na pločicu se zakvači kukicom. Sterilizacija priteznog sklopa moguća je nakon što se odspoji savitljivo vratilo, dok se vratilo i papučica ne moraju sterilizirati jer nisu u kontaktu sa tkivom.



Slika 31. Drugi koncept

10.3. Treći koncept

Treći koncept (Slika 32.) sastoji se od priteznog sklopa i kliješta. Ovdje se također koristi čelično uže kako bi se mjesto unosa sile odvojilo od mjesta pritezanja ulomaka. Pritezni sklop sastoji se od nepomičnog nosača i klizača, a povezani su vodilicama. Bužir kroz koji je provedeno uže naslanja se s gornje strane na nepomični nosač, uže izlazi iz bužira i ulazi u nepomični nosač gdje onda mijenja smjer i ide dalje prema klizaču. Kada uže povlači klizač onda on slobodno klizi vođen vodilicama. Vodilice su uprešane u nepomični nosač kako bi imale što veću dodirnu površinu. Između nepomičnog nosača i klizača smještena je i opruga koja gura klizač u početni položaj. Ova opruga ima mali koeficijent elastičnosti i ne predstavlja praktički nikakav otpor prilikom pritezanja. Nepomični nosač se na pločicu zakvači pomoću kukice. S druge strane su kliješta koja na sebi imaju sklop za mjerenje sile i sklop za zadržavanje kompresije. Sklop za mjerenje sile sastoji se od kliznog cilindra, opruge, kućišta opruge i ručice. Opruga je smještena u svom kućištu koje ima s vanjske strane narezan navoj a na vrhu je pričvršćena ručica s kojom se može kućište zakretati. S gornje strane na opruzi leži klizni cilindar u kojeg je uveden bužir. Kad se stisnu kliješta bužir gura klizni cilindar prema dole i time oprugu deformira. Ako na klizni cilindar ucrtamo oznake za mjerenje tj. ako ga baždaramo i pravilno kalibriramo, onda možemo mjeriti iznos sile u užetu. Prije stiskanja kliješta i stvaranja kompresije među ulomcima treba se zakretanjem ručice približiti ulomke do njihovog kontakta. Zakretanjem ručice se kućište opruge podiže prema gore i povlači se uže dok se ulomci ne spoje. Nakon toga slijedi stiskanje kliješta. Sa ovako oblikovanim kliještima ovisno o mjestu stiskanja dobije se omjer krakova od 3:1 do 5:1 pa je moguće lako ostvariti velike sile u užetu. Stiskanjem kliješta kompresiramo ulomke, no oni bi trebali ostati u napregnutom stanju dok se ne implantiraju svi vijci kroz pločicu u kost. Zadržavanje kompresije omogućeno je pomoću zubne letve i kliznog kljuna koji s gornje strane uskače između zubi. Zubna letva da bi mogla stati između ručki mora biti u obliku luka. Zubna letva je preko cilindričnog zgloba spojena s donjom ručkom a kljun je sa svojim mehanizmom spojen na gornju ručku. Iznad kljuna s gornje strane je opruga koja ga gura prema dole pa on stalno uskače u zube dok se letva pomiče. Zubi letve su pilastog oblika i usmjereni tako da kad se stisnu kliješta onda kljun preskače zube, a kad se puste kliješta onda zahvate kljun i tako spriječe širenje ručki kliješta i popuštanje kompresije. Svi dijelovi i bužir su od nehrđajućeg čelika ili titana tako da se mogu sterilizirati.



Slika 32. Treći koncept

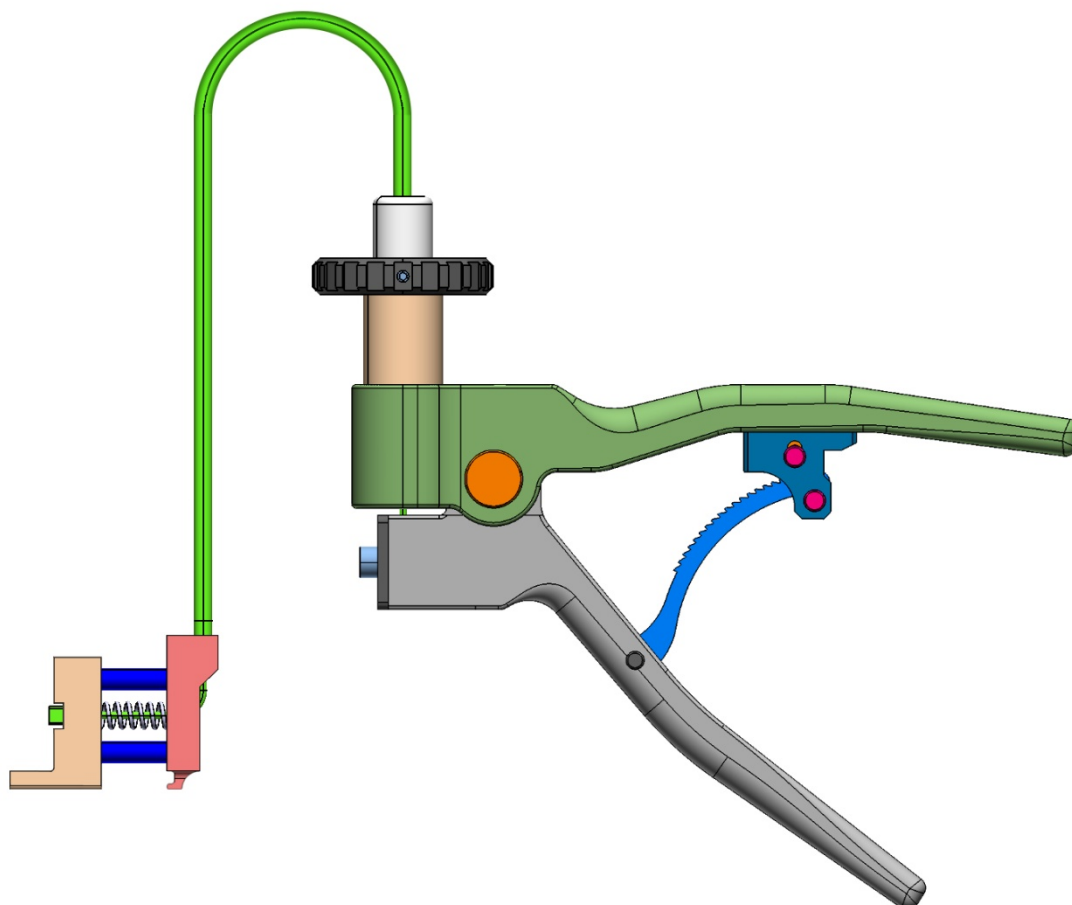
10.4. Odabir koncepta

Sva tri koncepta imaju svoje dobre strane i mane. Prvi koncept je jednostavan. Mjesto unosa sile je odvojeno od mjesta djelovanja sile. Prilikom pritezanja nema ni vibracija niti se stvara reakcijski moment na kućištu koji bi se prenosio na ulomke. Mjerenje sile se jednostavno vrši tlačenjem opruge. Zadržavanje kompresije je osigurano samokočnošću vijka. Mana je što se unos sile vrši zakretanjem ručice, pa je za unos većih sila potrebna veća ručica da ne bi korisniku bilo preteško.

Drugi koncept je zanimljiv jer jednom kad se namjesti sila na papučici samo se treba čekati dok se ne postigne potrebna kompresija. Nije potrebna signalizacija. Jednostavan je za upotrebu. Problem je kompleksnost i cijena uređaja, i to što ipak s obzirom da se savitljivo vratilo rotira pa tako onda prenosi moment na kućište a time i na ulomke.

Koncept koji ispunjava najviše zahtjeva je treći koncept. Brzo i jednostavno se postavi. Ima relativno veliki hod potreban ako su ulomci dosta razmaknuti. Sistem za mjerenje je mehanički i nalazi se na kliještima, pa je i lakše očitavati silu umjesto da se očitava kod prijeloma. Kompresiranje ulomaka ostvari se jednostavno jednim stiskanjem. Pritezni sklop je malih dimenzija a krutost osiguravaju dvije relativno velike vodilice. Ne zahtjeva alate ni električnu energiju. Prilikom pritezanja nema vibracija niti se stvara reakcijski moment na kućištu. Slijedi cjelokupno rješenje i 3d model sa kontrolnim proračunima.

11. OPIS I ANALIZA ODABRANOG KONCEPTA

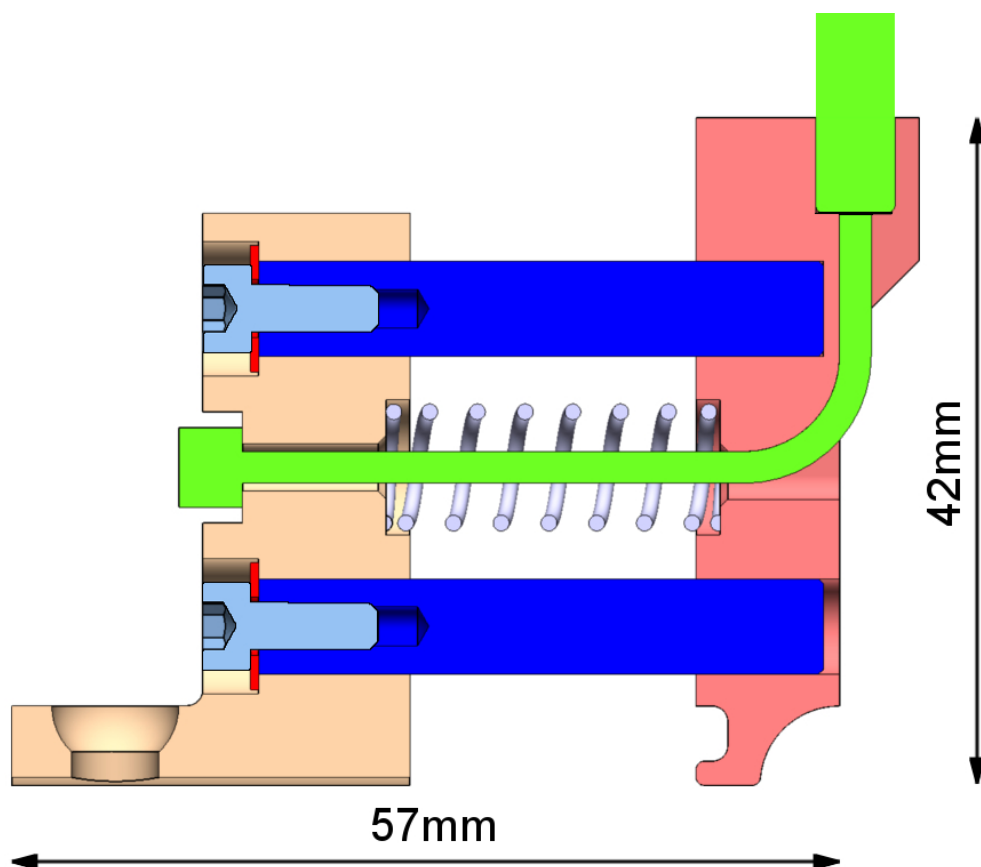


Slika 33. Odabrani koncept priteznika

Prtiteznik se sastoji od kliješta i priteznog sklopa. Oni su međusobno povezani užetom. Razlog ovakve izvedbe je potreba za razdvajanjem mjesta unosa sile od mjesta pritezanja. Stiskanjem kliješta unosi se sila koja se užetom prenosi do priteznog sklopa gdje se dalje prenosi na ulomke u obliku interfragmentarne kompresije. Kliješta na sebi imaju sklop za mjerenje sile u užetu i sklop za zadržavanje kompresije. Svi dijelovi kako bi se mogli sterilizirati predviđeni su da budu izrađeni od nehrđajućeg čelika ili titana.

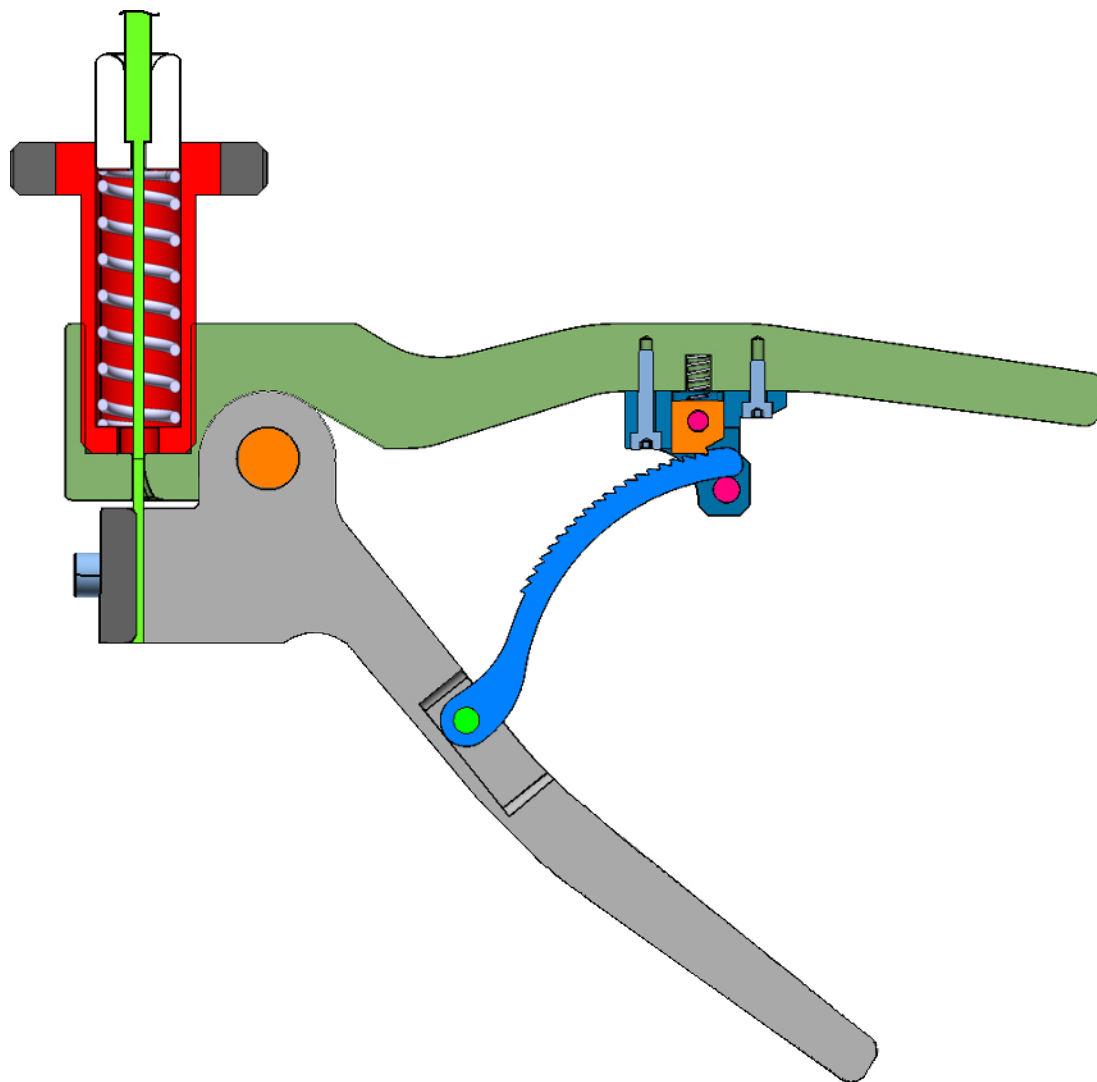
11.1. Pritezni sklop

Pritezni sklop sastavljen je od nepomičnog nosača, klizača, vodilica i opruge. Nepomični nosač na dnu ima kukicu kojom zakvači pločicu. Kroz nepomični nosač izbušene su dvije rupe za vodilice, izgledana je rupa sa zaobljenjem za užu, udubljenje za oprugu i s gornje strane rupa za bužir i užu. Uže prolazeći kroz nepomični nosač mijenja smjer i ide dalje do klizača na koji se pomoću proširenja naslanja. Uže samo s jedne strane ima proširenje, inače se ne bi moglo provući kroz cijeli sklop. Vodilice su uprešane u nepomični nosač kako bi imale što veću kontaktnu površinu a time i povećale veću krutost sklopa. Između nepomičnog nosača i klizača nalazi se opruga, njena funkcija je držati klizač na maksimalnoj udaljenosti od nepomičnog nosača, tako je užu uvijek zategnuto a kliješta su maksimalno otvorena. Opruga ima mali koeficijent elastičnosti i zato ne predstavlja otpor prilikom pritezanja. Kako bi se spriječilo oprugu da sa vodilica skine klizač u vodilice su zavijeni vijci M3 sa podložnim pločicama koje se naslanjaju na klizač. Pritezni sklop je prilično kompaktan (Slika 34.) i ne zahtjeva povećanje reza kako bi se mogao postaviti na kost. Najveća prednost je u tome što se povlačenjem užeta dobije linearan pomak bez mrdanja i vibracija.



Slika 34. Presjek priteznog sklopa

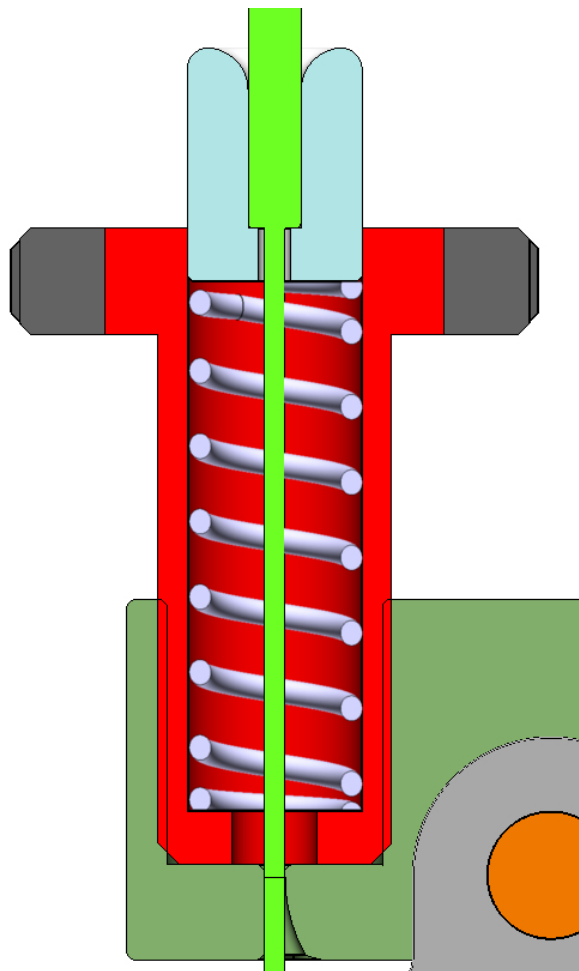
11.2. Kliješta



Slika 35. Presjek kliješta

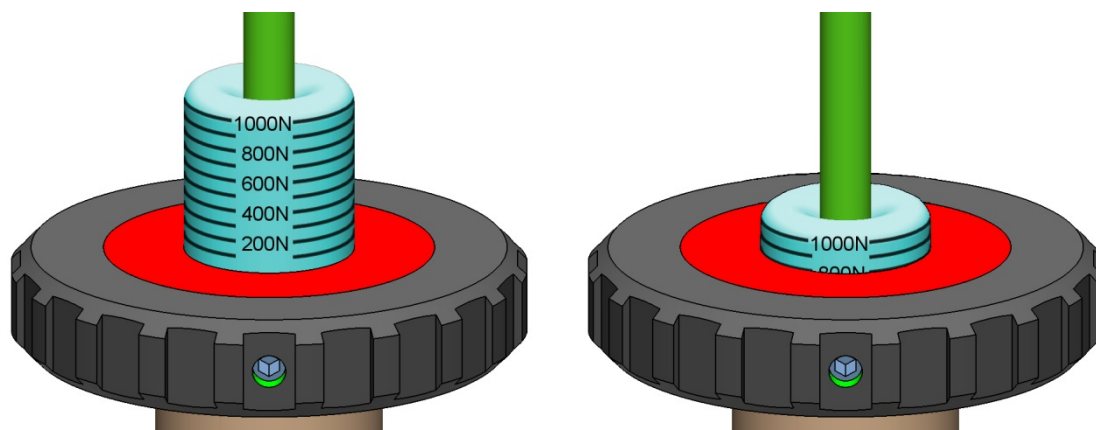
Kliješta su sastavljena od gornje i donje ručke, a međusobno su povezane s osovinom. Na gornjoj ručki se nalazi sklop za mjerenje sile i sklop za zadržavanje kompresije, a na donjoj ručki se pričvršćuje uže i zubna letva. Ručke su ergonomski oblikovane i dimenzionirane prema preporukama za dizajn ručnih alata. Pojačanje sile pomoću ručki kliješta je u omjeru od 3:1 do 5:1 ovisno na kojem mjestu korisnik drži ručku. Za silu pritezanja od oko 1000N kosrinik treba stisnuti silom od 200 do 300 N, što se prilično lako ostvari stiskom s obe ruke. Koncept je i zamišljen tako da se kliješta stisnu s obe ruke. Poslije će bit objašnjen mehanizam zadržavanja kompresije gdje se vidi kako je druga ruka potrebna i za otkočivanje mehanizma.

11.3. Mjerni sklop



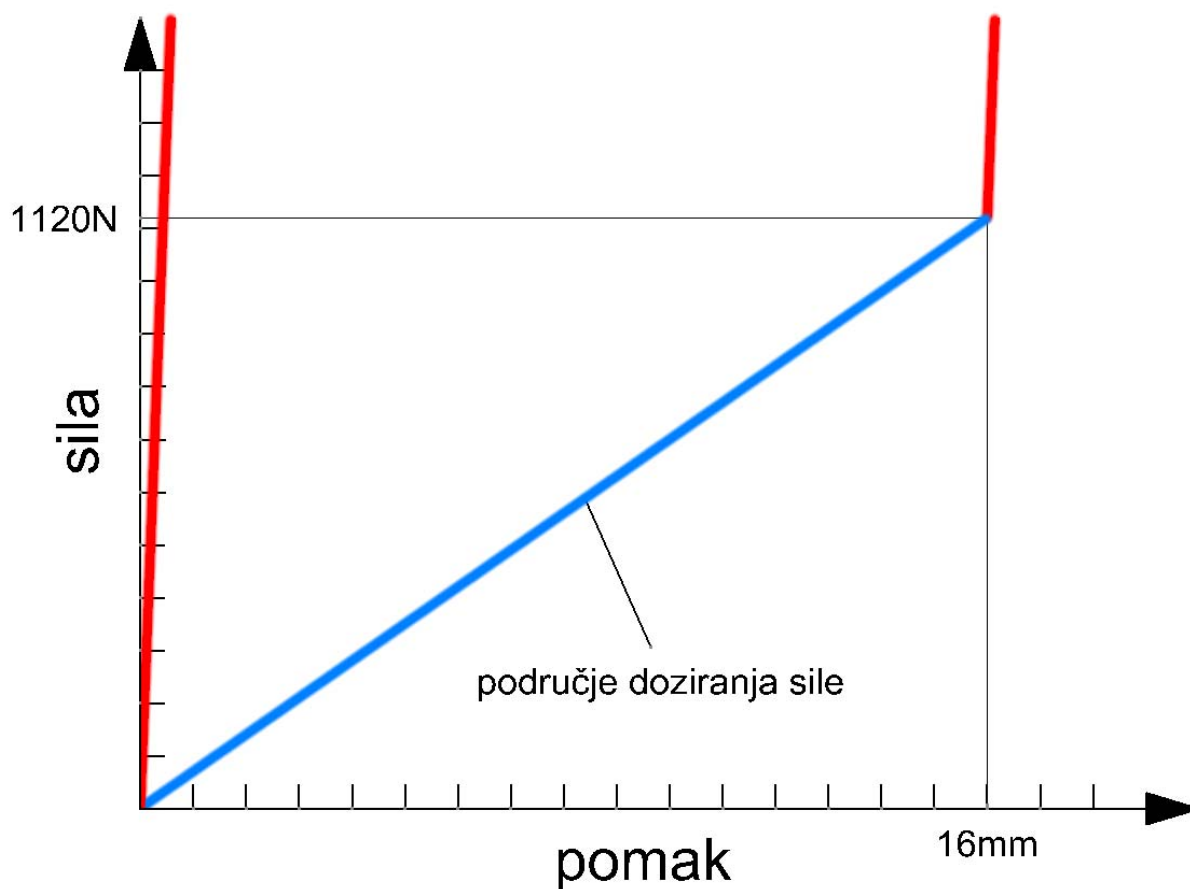
Slika 36. Presjek mjernog sklopa

Sklop za zadržavanje kompresije (Slika 36.) sastoji se od cilindričnog kućišta za mjernu oprugu, mjerne opruge, kliznog cilindra i zakretne ručice. Kućište opruge izvana ima narezan navoj M22x1.5 kojim se kada se zakreće ručica ono podiže i tako povlači užu koje je fiksirano na donjoj ručki. Na taj način se približavaju ulomci do njihovog kontakta. Zakretanje ručice je predviđeno samo za približavanje ulomaka dok je stiskanje kliješta previđeno za tlačenje mjerne opruge i stvaranje kompresije. Izlaz za užu iz gornje ručke je oblikovano tako da se ono naslanja na blago zaobljenje, time je smanjeno trenje i trošenje.



Slika 37. Cilindrični klizač pokazuje iznos sile u užetu

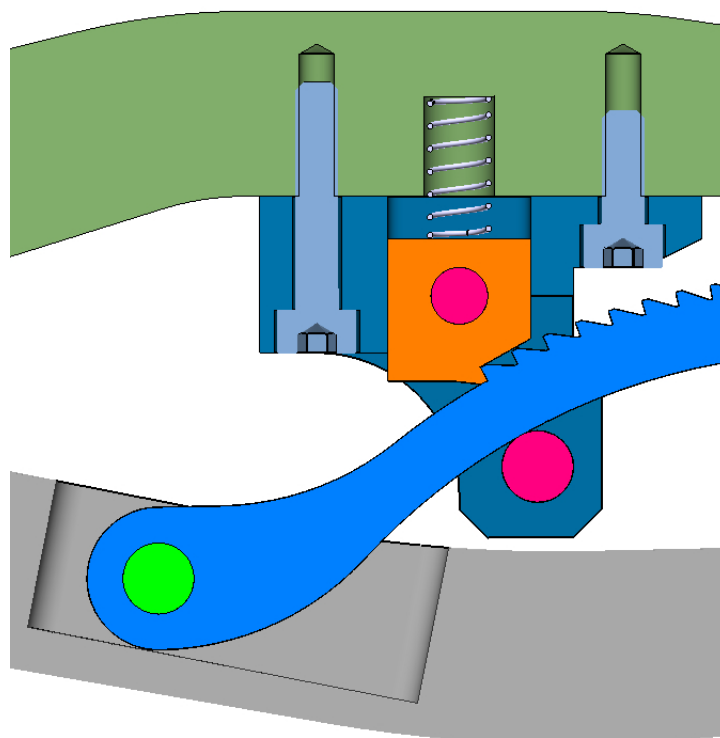
Kada su ulomci zakretanjem ručice dovedeni u kontakt slijedi stiskanje kliješta. Tada se tlači mjerna opruga i cilindrični klizač ulazi u kućište opruge. Da bi se mogla mjeriti i očitati sila, treba klizač baždariti i kalibrirati (Slika 37.). Mjerna opruga ima koeficijent elastičnosti od $c = 70 \text{ N/mm}$, to znači da će se pri sili u užetu od 1000N klizači spustiti za oko 14 mm. Prednost jednog ovakvog sklopa je u tome što prilikom stiskanja kliješta korisnik neće osjetiti odmah maksimalni otpor, nego će otpor rasti kako se opruga tlači (Slika 38.). Tako korisnik lako može dozirati silu koju kliještima unosi. Maksimalna deformacija opruge i hod klizača je 16mm, a za to je potrebna sila od 1120N. Pri pritezanju ulomaka rijetko kad će biti potrebna sila veća od 1000N, ovdje je navedena samo kao krajnja tj. granična vrijednosti koja je definirana geometrijom opruge. Mjerenje sile pritezanja ima smisla samo onda kada se zna kolikom silom se smiju pritezati ulomci, ako je poznata sila pritezanja ipak nije poznat tlak između ulomaka. Zato je potrebno definirati potrebnu silu za parametre poput promjera ulomaka, dobi pacijenta, vrsti loma itd.



Slika 38. Deformacija opruge - plavo i deformacija užeta -crveno

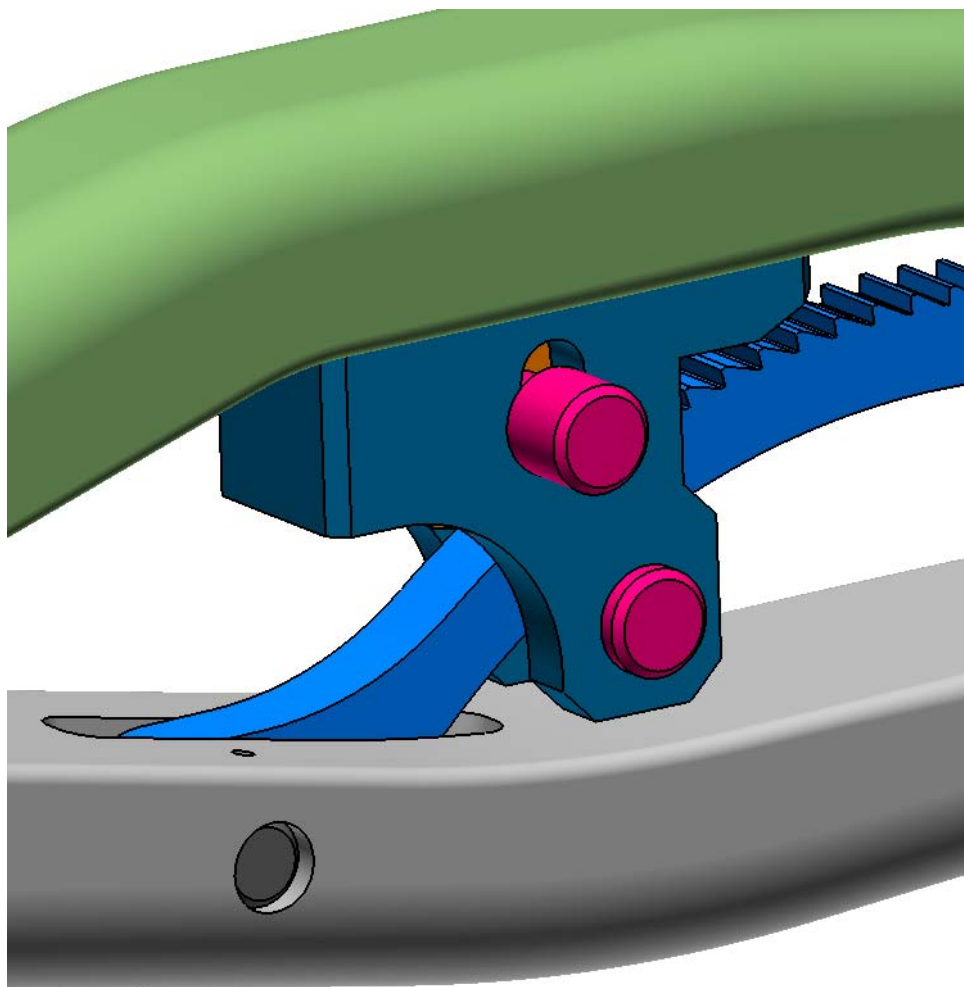
Prilikom stiskanja kliješta, ručke se oko osovine zakreću i povlače uže. Ovako kako su kliješta oblikovana dozvoljavaju maksimalnu rotaciju od 40° , pri tome uže ostvari pomak od 16mm. Na slici se vidi kako sila tlačejnem opruge u užetu raste linearno i blago (plava crta). Opruga se stiskanjem kliješta deformira i omogućuje zakret ručki, u suprotnom da nema opruge ručke kliješta se ne bi praktički ni mogle pomaknuti jer je krutost užeta puno veća nego kod opruge, pa će se i minimalno deformirati. Kad ne bi bilo opruge sila bi se mogla dozirati samo snagom stiskanja, ali uz pomoć opruge korisnik opet dozira silu sa snagom stiskanja ali lakše i preciznije, jer ima dosta rotacijskog hoda ručki za doziranje. Crvene crte na slici predstavljaju karakteristiku užeta, vidi se da je za mali pomak potreba ogromna sila, zbog toga priteznik zahtjeva međuelement s niskim koeficijentom elastičnosti koji će omogućiti lakše i preciznije doziranje sile.

11.4. Sklop za zadržavanje kompresije



Slika 39. Presjek mehanizma za zadržavanje kompresije

Sklop za zadržavanje kompresije sastoji se od zubne letve u obliku luka, kliznog kljuna, kućišta kljuna, opruge, kliznog svornjaka kljuna i kliznog svornjaka zubne letve. Zubna letva je oblikovana u obliku luka kako bi mogla stat između ručki kada su kliješta maksimalno stisnuta. Letva i donja ručka povezane su svornjakom. Klizni kljun se nalazi u kućištu koje je sa dva vijka spojeno s gornjom ručkom. U kućištu je izglodan žlijeb kroz koji kljun klizi. Osim žlijeba koji ograničava gibanje kljuna, kroz njega je provučen i klizni svornjak koji ograničava krajnje pozicije kljuna. Svornjak klizi vertikalno kroz žlijebeve izglodane u kućištu (Slika 40.). Iznad kljuna se nalazi opruga koja ima sjedište u gornjoj ručki. Prilikom stiskanja kliješta zubna letva klizi po svornjaku dok ju s gornje strane pritišće klizni kljun, kako letva klizi tako kljun zbog pilastog oblika zubi preskače zube. Kada se otpuste kliješta sila u užetu povlači donju ručku i zubna letva se vraća, ali zbog pilastog oblika zubi kljun kojeg s gornje strane tlači opruga prema dole, uskače u prostor između zubi letve te ju zadržava. Zubna letva na sebi ima 19 zubi tako da se na svakih 60 N mehanizam može zakočiti, što je dovoljno velika rezolucija.



Slika 40. Vanjski pogled na mehanizam za zadržavanje kompresije

Nakon obavljene fiksacije ulomaka piteznik više nije potreban i pritezanje se može prekinuti. S obzirom da se kliješta stiskaju s obe ruke onda se na kraju može s palcom pomoćne ruke odkočiti mehanizam za zadržavanje kompresije. To se postiže tako da se kliješta opet stisnu kako bi se tlak između zubi smanjio, te se sa palcom pomakne klizni svornjak prema gore kako bi klizni kljun izašao izvan dohvata zubi letve. Nakon toga se s obe ruke kontrolirano popuštaju ručke dok sila u užetu nestane.

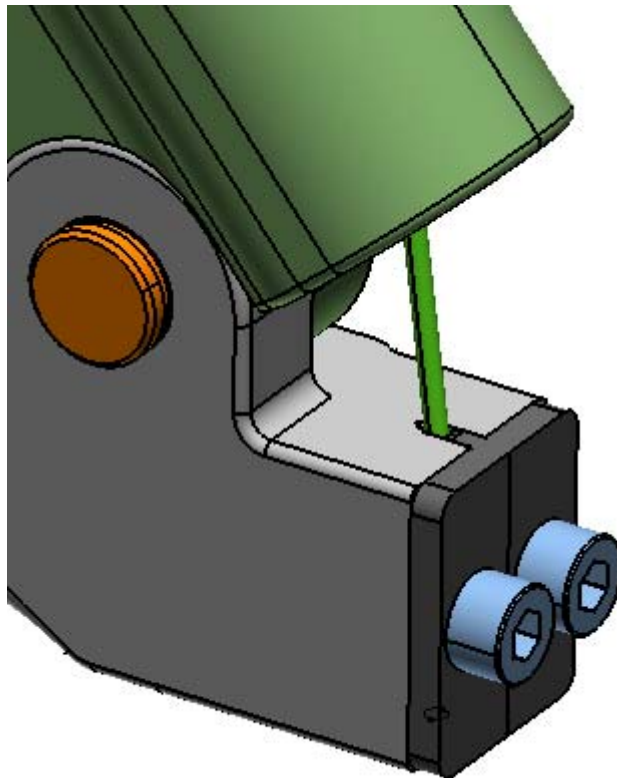
11.5. Bužir i uže

Uže je promjera 2 mm što se čini prilično malo s obzirom da treba idržati sile više od 1000N.

Jedini razlog zašto je uže tako tanko je zbog toga što se mora savijati i mijenjati smjer pa zato je bolje da bude što tanje. Također zbog kompaktnosti priteznog sklopa bolje je da uže bude što tanje. Izborom kvalitetnih materijala uže može bez opasnosti pucanja podnijeti sva opterećenja. Uže na jednom kraju ima proširenje (Slika 41.) kako bi se moglo nasloniti na klizač, a drugi kraj ne smije imati proširenje jer se mora provući kroz cijeli sklop i kroz bužir. Drugi kraj se nakon provlačenja pričvrsti steznikom užeta na donju ručku (Slika 42.).



Slika 41. Proširenje na jednom kraju užeta



Slika 42. Drugi kraj užeta se pričvrsti na donjoj ručki

Bužir je jednako opterećen kao i uže jer se zakonom akcije i reakcije na njega prenose opterećenja. Bužir se kupuje kao i uže. Kako bi se mogao sterilizirati mora biti napravljen od nehrđajućeg metala. Postoje razni oblici metalnih bužira, najčešći su spiralni i u obliku serijski spojenih cjevčica koje su umetnute jedna u drugu. Spiralni bužir može se savijati zbog zračnost između vojeva spirale, a cjevasti bužir se s obzirom da su cjevčice kratke i da postoji mala zračnost između njih također da lako savijati (Slika 43.).



Slika 43. Primjer spiralnog bužira

12. KONTROLNI PRORAČUN

12.1. Proračun užeta

Promjer užeta $D_u = 2$ mm. U najgorem slučaju uže treba izdržati maksimalnu silu $F_{max} = 1120$ N. Treba provjeriti koliko iznosi vlačno opterećenje $\sigma_{u\ vlak}$ kod tolike sile i odabrati adekvatan materijal uz određeni faktor sigurnosti f_u .

Površina A_u se računa prema izrazu

$$A_u = \frac{D_u^2 \pi}{4} = \frac{2^2 \pi}{4} = 3,14 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

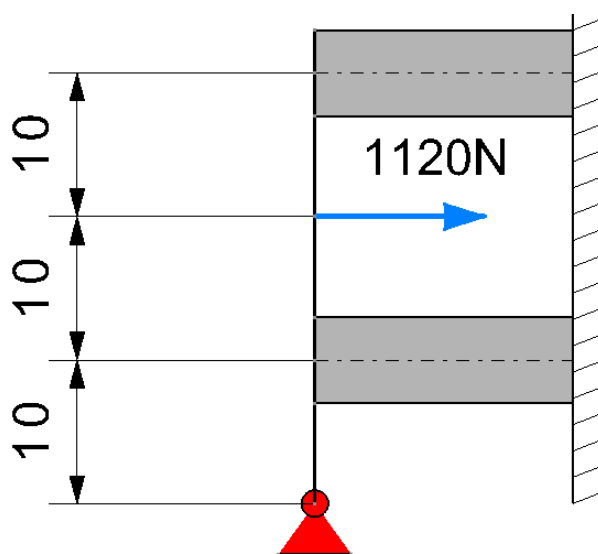
Vlačno naprezanje $\sigma_{u\ vlak}$ iznosi

$$\sigma_{u\ vlak} = \frac{F_{max}}{A_u} = \frac{1120}{3,14} \approx 357 \text{ N/mm}^2 \quad (2)$$

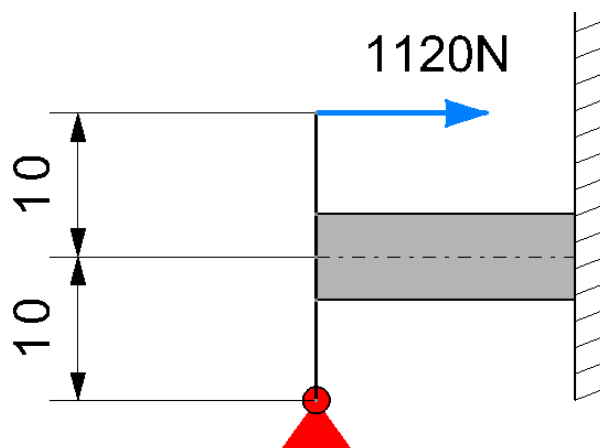
Ako se uzme faktor sigurnosti od $f_u = 1.5$ i pomnoži sa $\sigma_{u\ vlak}$ dobijemo maksimalno dopušteno naprezanje $\sigma_{u\ dop} = 535,5 \text{ N/mm}^2$ pri kojem uže ne smije izaći iz elastičnog područja. To znači da treba izabrati materijal kod kojeg je granica tečenja materijala $\sigma_{0,2}$ veća od maksimalnog dopuštenog naprezanja $\sigma_{u\ dop}$. Za materijal žica od kojih je uže napravljeno bi se mogao uzet vučeni austenitni nehrđajući čelik 1.4301, koji kad je toplinski obrađen ima granicu razvlačenja od 690 do 800 N/mm².

12.2. Proračun vodilica

Krutost priteznog sklopa osiguravaju dvije relativno debele vodilice promjera $D_v = 6\text{mm}$. Prilikom pritezanja uže povlači klizač koji je spojen s ulomkom. Kada su ulomci u kontaktu klizač se više ne može pomicati i tada se počnu javljati naprezanja u vodilicama i u užetu. Problem se može modelirati tako da se pretpostavi najgora moguća situacija kao da svaka vodilica zasebno podnosi puno opterećenje. U tom slučaju s obzirom da se ne može pomicati mjesto gdje je klizač spojen s ulomkom, to mjesto djeluje kao zglob, a klizač sam kao poluga, kojom uže vrši moment na vodilice, dok su one ukliještene na nepomičnom nosaču (Slika 44.). Kao posljedica tog momenta javlja se u ukliještenju također moment jednakog iznosa ali suprotnog smjera. Proračunavat će se svaka vodilica zasebno, opterećena punim iznosom sile u užetu.



Slika 44. Model za proračun vodilica



Slika 45. Model za proračun donje vodilice

Moment M_{dv} koji djeluje na donju vodilicu može se izračunati prema izrazu

$$M_{dv} = \frac{F_{max}(10 + 10)}{10} = \frac{1120 \cdot 20}{10} = 2240 \text{ Nmm} \quad (3)$$

Ovaj moment je konstantan po cijeloj dužini vodilice i izaziva u uklještenju reakciju jednakog iznosa ali suprotnog smjera. Savojno naprezanje σ_{fdv} u donjoj vodilici se dobije prema

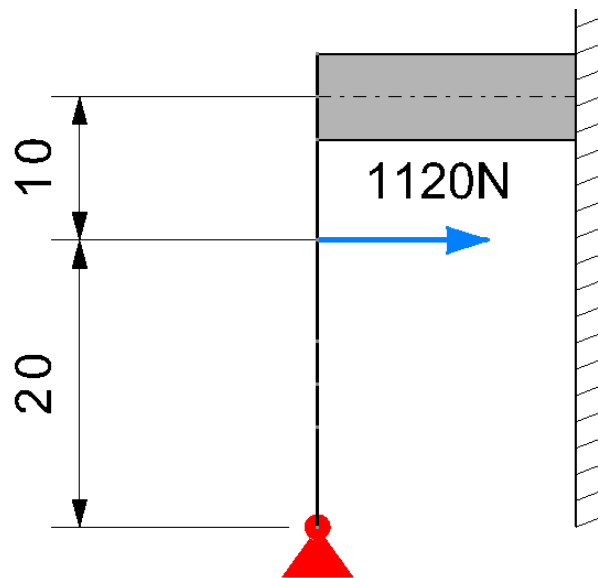
$$\sigma_{fdv} = \frac{M_{dv}}{W_v} \quad (4)$$

gdje je W_v moment otpora vodilice

$$W_v = 0,1D_v^3 = 0,1 \cdot 6^3 = 21,6 \text{ mm}^3 \quad (5)$$

pa je onda σ_{fdv}

$$\sigma_{fdv} = \frac{2240}{21,6} = 103,7 \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$



Slika 46. Model za proračun gornje vodilice

Moment M_{gv} koji djeluje na gornju vodilicu dobije se prema

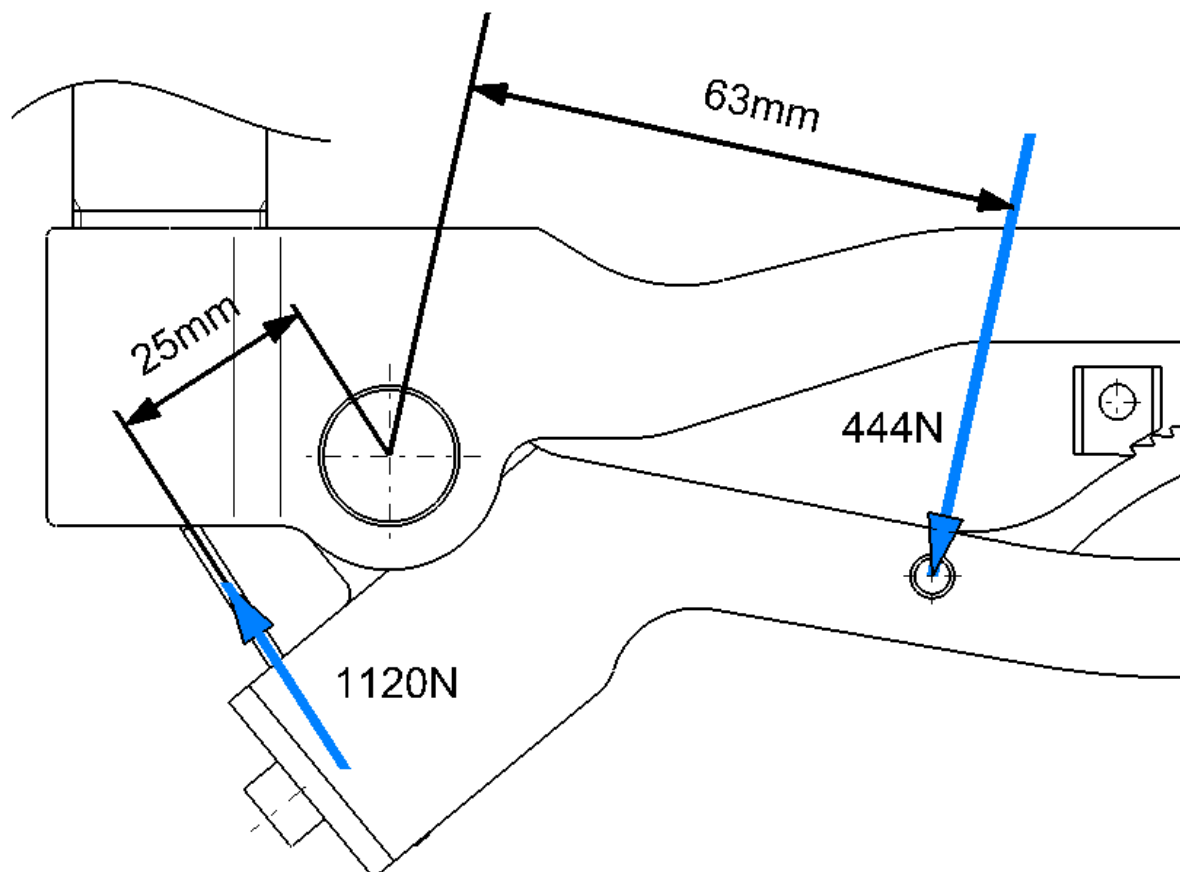
$$M_{gv} = \frac{F_{max} \cdot 20}{20 + 10} = \frac{1120 \cdot 20}{30} \approx 747 \text{ Nmm} \quad (7)$$

Ovaj moment je također konstantan po cijeloj dužini vodilice i izaziva u uklještenju reakciju jednakog iznosa ali suprotnog smjera. Slijedi izračun savojnog naprezanja $\sigma_{f\ gv}$ u gornjoj vodilici prema izrazu ako znamo da je moment otpora $W_v = 21,6 \text{ mm}^3$

$$\sigma_{f\ gv} = \frac{M_{gv}}{W_v} = \frac{747}{21,6} = 34,58 \text{ N/mm}^2 \quad (8)$$

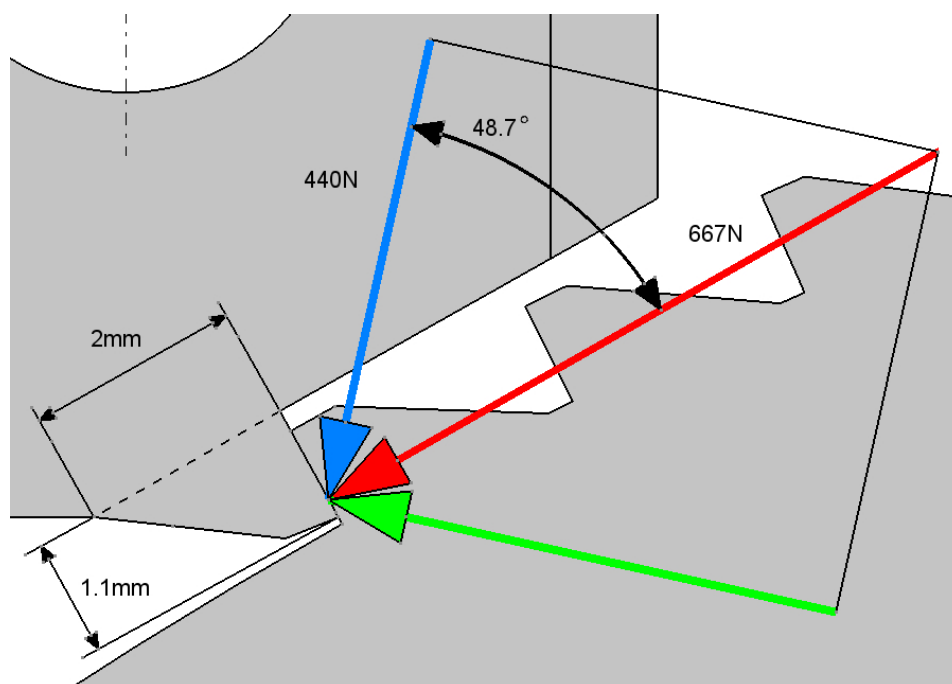
Ako se oba savojna naprezanja vodilica pomnože s faktorom sigurnosti $f_v = 1.5$ dobiju se maksimalna dopuštena naprezanja $\sigma_{vd\ dop} = 155,55 \text{ N/mm}^2$ za donju i $\sigma_{vg\ dop} = 51,87 \text{ N/mm}^2$ za gornju vodilicu. Iz ovoga može se zaključiti da vodilice nisu previše opterećene i da se za materijal može odabrati skoro bilo koji nehrđajući čelik jer će u pravilu svi zadovoljiti.

12.3. Proračun zubi



Slika 47. Omjer krakova

Najnepovoljnija situacija za zube je kad su kliješta maksimalno stisnuta (Slika 47.), tj. kad su ručke napravile rotaciju od 40° . Tada je opruga maksimalno deformirana i sila u užetu iznosi $F_{max} = 1120$ N. Uže se želi rasteretiti i povlači donju ručku na kraku od 25mm, istovremeno mehanizam za zadržavanje kompresije sprječava povrat ručke. S obzirom da je krak od svornjaka zubne letve do osovine ručki veći, na svornjak će djelovati manja sila $F_o = 444$ N. Ta sila se dalje preko letve prenosi na zube. Geometrija zubi kod letve i kliznog kljuna je slična, samo što zub kljuna ima malo veći krak od tjemena do korijena i time je više opterećen na savijanje. Zato će se u ovom proračunu uzet samo u obzir zub kliznog kljuna. Sila F_o je obodna sila okomita na krak od osi ručki do osi svornjaka zubne letve, ona se dalje prenosi na zube. Kako bi zubi mogli zadržati zubnu letvu moraju reagirati protureakcijom od $F_z = 667$ N.



Slika 48. Sile koje djeluju na zub

Sila $F_z = 667$ N djeluje direktno okomito na zub i izaziva savijanje oko njegovog korijena. Površina korijena zuba ima visinu od $h = 2$ mm i širinu od $a = 5$ mm što je ujedno i širina kliznog kljuna. Za proračun savijanja će se uzet ukupna visina zuba kao krak $k = 1,1$ mm (Slika 48.). Moment otpora W_z korijena zuba računa se prema izrazu

$$W_z = \frac{a \cdot h^2}{6} = \frac{5 \cdot 2^2}{6} = 3,333 \text{ mm}^3 \quad (9)$$

Moment savijanja oko korijena M_z zuba iznosi

$$M_z = F_z \cdot k = 667 \cdot 1,1 = 734 \text{ Nmm} \quad (10)$$

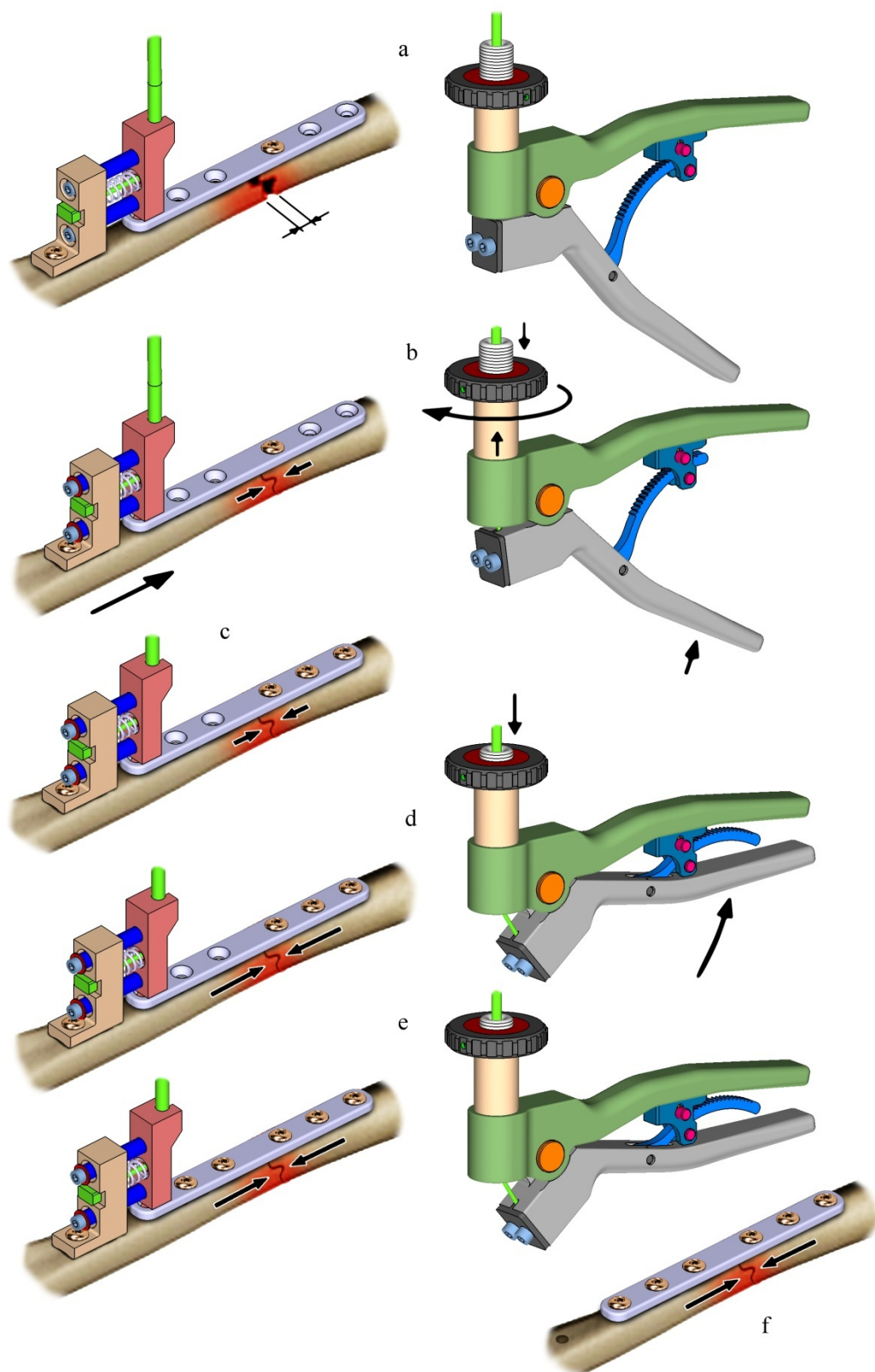
Svojno naprezanje zuba je

$$\sigma_{fz} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{734}{3,333} = 220 \text{ N/mm}^2 \quad (11)$$

Uz faktor sigurnosti od $f_z = 1.5$ dobije se dopušteno naprezanje zuba $\sigma_{z dop} = 330 \text{ N/mm}^2$

Zubi također nisu previše opterećeni. Materijal za kljun i zubnu letvu mogao bi biti nehrđajući čelik 1.4310, koji ako je toplinski obrađen ima granicu razvlačenja od 420-800 N/mm².

13. POSTUPAK PRITEZANJA



Slika 49. Postupak pritezanja

Potupak pritezanja (Slika 49.) izvodi se slično kao i kod dosadašnjih priteznika. Prvo se napravi otvor iznad prijeloma te se pomaknu mišići kako bi se moglo nesmetano pristupiti mjestu prijeloma. Zatim se u prvi ulomak probuši otvor kroz oba kortikalisa te se narežu navoji i pozicioniraju ulomci. Postavlja se pločica te se lagano pritegne kortikalnim vijkom. Ulomci i pločica se fiksiraju samocentrirajućim kliještima, a na drugom ulomku se pomoću vodicice za svrdlo izbuši rupa i narežu navoji za priteznik. Slijedi redoslijed primjene priteznika:

- a) Pritezni sklop se postavlja tako da se sa svojom kukicom zakvači za pločicu, a na drugi ulomak se pričvrsti sa kortikalnim vijkom. Između ulomaka postoji mala zračnost.
- b) Zakretnom ručicom lagano se odvrće kućište opruge koje se pomiče prema gore i tako zateže užu, time se klizač povlači koji onda ulomke približi do njihovog kontakta. Zatim se kliješta stisnu i pritezni sklop lagano prednapregne da bi se postigla idealna repozicija.
- c) Dok su ulomci lagano prednapregnuti, napravi se još jedna kontrola njihove pozicije te se implantiraju ostali vijci u prvi ulomak.
- d) Kliješta se stiskaju dok se u užetu ne postigne iznos sile potreban za kompresiju ulomaka. Iznos sile se može očitati na bijelom cilindričnom klizaču koji je baždaren u njutnima.
- e) Kad se ostvari potrebna sila, kliješta se otpuštaju. Tada mehanizam za zadržavanje kompresije zakloči kliješta i pritezni sklop, te se mogu uvrnuti ostali vijci u drugi ulomak.
- f) Priteznik se otkoči i odstrani, te se u zadnju rupu stavi kratki vijak kako ne bi došlo do naglog skoka krutosti. Rupa u kojoj je bio vijak koji je spajao drugi ulomak i priteznik ostaje prazna.

14. ZAKLJUČAK

Priteznici su standardni instrument osteosinteze za postizanje interfragmentarne kompresije. U posljednje vrijeme ih polako iz upotrebe istiskuju moderne pločice koje mogu zajedno u kombinaciji s vijcima ostvariti interfragmentarnu kompresiju. Priteznici se koriste samo kada je potreban hod za primicanje ulomaka veći od 2mm i sile veće od 1000N. Danas priteznici nemaju druge prednosti u odnosu na pločice, a kod upotrebe se moraju postaviti na kost zatim ostvariti kompresiju i poslije opet skinuti, što je gubitak vremena ako se može direktno s pločicom i vijcima ostvariti kompresija. Najveće mane dosad razvijenih priteznika su u tome što je skoro svim varijantama potreban alat za pritezanje, na licu mjesta vrše transformaciju sile i u tome što ne nude mogućnost mjerenja sile pritezanja. Pritezanje alatom je problematično zbog malog prostora oko priteznog vijka, tako da korisnik mora paziti na svoje pokrete. Problem nemogućnosti mjerenja sile ili tlaka zahtjeva od korisnika pritezanje prema osjećaju, pa je moguće da se ne ostvari dovoljno velika kompresija ulomaka za uspješno cijeljenje kosti ili se ulomci prejako kompresiraju pa dođe do nekroze tkiva. Prilično je jasno koje probleme treba riješiti prilikom razvijanja priteznika. U ovom radu je prilikom konstrukcijske razrade fokus bio na razdvajanju mjesta unosa sile od mjesta pritezanja i na ostvarivanje čisto linearnog pomaka ulomaka bez dodatne nepotrebne transformacije sila. Na taj način se riješe problemi vezani za manjak prostora prilikom pritezanja i stvaranje reakcijskog momenta na kućištu priteznika koji dalje nastoji zakrenuti ulomke. To se postiže upotrebom užeta kao sredstvom za prijenos sile od mjesta unosa sile do mjesta pritezanja. Uže se stiskanjem kliješta zateže i tako linearno povlači klizač fiksiran na ulomak. Ovakvim principom je riješen i problem mrđanja i vibracija koje obično nastaju kad se na licu mjesta koristi ključ. Problem mjerenja sile pritezanja je riješen iskorištavanjem reakcijske sile u bužiru za tlačenje i deformaciju opruge. Opruga svojom deformacijom dozvoljava pomak baždarenog kliznog cilindra koji svojim pomakom pokazuje iznos sile u užetu. Zadržavanje kompresije je riješeno upotrebom zubne letve na koju se može smjestiti dovoljno velik broj zubi koji omogućuju finu regulaciju kočenja priteznika. Također upotrebom užeta je omogućeno da pritezni sklop bude kompaktan, tako neće biti potrebno proširivati rez za njegovo postavljanje što doprinosi bržem oporavku pacijenta. U konačnici daljni razvoj priteznika bi mogao ići u smjeru elektronske regulacije i nadzora kompresije, kako bi se što kvalitetnije stabilizirali ulomci i skratilo vrijeme oporavka.

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija

LITERATURA

- [1] Prof. dr. B. Smiljanic, Traumatologija, Školska knjiga, Zagreb 1994.
- [2] Muljacic, Ante (2006) Utjecaj vrijednosti koštanog izoenzima na prognozu tijeka i brzine koštanog cijeljenja. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu.
- [3] Janqueira LC, Caneiro J, Kalley RO, Osnove histologije, Zagreb: Školksa knjiga 1999
- [4] <http://newscenter.lbl.gov/wp-content/uploads/bone-osteon2.jpg>
- [5] https://www2.aofoundation.org/AOFileServerSurgery/MyPortalFiles?FilePath=/Surgery/en/_img/surgery/FurtherReading/PFxM2/3.3.4-10a-c.jpg
- [6] www.msdlatinamerica.com/ebooks/RockwoodGreensFracturesinAdults/files/95d3be33e9ea0f74b8836e0f58e36914.gif
- [7] Müller, M. E., Allgöwer, M., Schneider, R., Willenegger, H., *Udžbenik osteosinteze*, Jugoslavenska medicinska naklada, Zagreb, 1981.
- [8] https://www2.aofoundation.org/AOFileServerSurgery/MyPortalFiles?FilePath=/Surgery/en/_img/surgery/FurtherReading/PFxM2/3.3.4-7.gif
- [9] Glogović, T., *Analiza konstrukcija priteznika za osteosintezu*, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
- [10] https://www2.aofoundation.org/AOFileServerSurgery/MyPortalFiles?FilePath=/Surgery/en/_img/surgery/FurtherReading/322_17.jpg
- [11] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [12] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.
- [13] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.